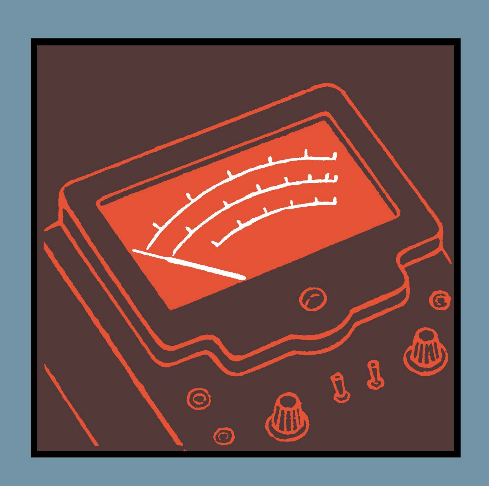


В. И. Бутенко

КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР



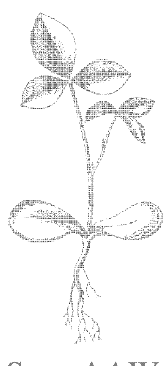


МАССОВАЯ
РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 847

В. И. БУТЕНКО

КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР





«ЭНЕРГИЯ»
МОСКВА — 1974

6Ф2.9
Б93
УДК 621.317.791

Бутенко В. И.

Б 93 Комбинированный измерительный прибор. М., «Энергия», 1974.

48 с. с ил. (Массовая радиобиблиотека. Вып. 847)

Подробно описан разработанный автором многоцелевой комбинированный измерительный прибор для измерения в широких пределах и с высокой точностью напряжений, токов, сопротивлений, емкостей, индуктивностей, а также параметров транзисторов и полупроводниковых диодов.

Брошюра предназначена для широкого круга радиолюбителей.

Б $\frac{30405\text{-}048}{051(01)\text{-}74}$ 314-74

6Ф2.9

ПРЕДИСЛОВИЕ

При разработке радиоэлектронной аппаратуры, а также при ее испытаниях в лабораторных, а нередко и в полевых условиях необходимо производить целый комплекс различных измерений. В ряде частных случаев эти измерения носят специальный характер, обусловленный спецификой аппаратуры конкретного назначения, и требуют применения уникальных измерительных приборов.

Однако в большинстве своем измерения связаны с определением электрических режимов элементов и узлов аппаратуры, т. е. сводятся к измерениям сопротивлений цепей, а также постоянных и переменных напряжений и токов в различных точках их схемы.

Требования к таким измерениям могут быть обобщены в широких пределах для всего многообразия радиоэлектронной и другой слаботочной аппаратуры путем обоснованного выбора перечня часто измеряемых величин и учета наиболее типичных пределов их измерения, а также путем изучения условий, гарантирующих минимальную реакцию измерителя на режим объекта измерений. Результаты такого обобщения позволяют определить перечень требований, предъявляемых к многоцелевым комбинированным измерительным приборам широкого применения.

Использование таких приборов может существенно улучшить качество отработки различных схем, повысить достоверность результатов измерений, уменьшить номенклатуру используемой измерительной аппаратуры и повысить производительность труда.

Автор заранее благодарит лиц, которые пришлют свои замечания и предложения по адресу: г. Москва, И-114, Шлюзовская набережная, 10, изд-во «Энергия», редакция Массовой радиобиблиотеки.

Автор

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРИБОРУ

Особо следует оговорить следующие эксплуатационные требования к комбинированным измерительным приборам: простота в обращении, надежность, малая масса, компактность, экономичность, наличие автономного источника питания и возможность работы в широком интервале внешних температур. Два последних требования особенно существенны при использовании приборов в полевых условиях.

Требования к электрическим параметрам комбинированных измерительных приборов не являются неизменными, застывшими во времени. Они определяются в конечном итоге электрическими характеристиками того класса активных элементов схем, который наиболее широко применяется в аппаратуре в течение определенного промежутка времени.

Так, еще 10—15 лет назад в качестве активных элементов схем повсеместно использовались электровакуумные приборы, отличающиеся высоким входным сопротивлением в области низких частот и относительно высокими питающими напряжениями. Это обстоятельство определило два основных требования к комбинированным измерительным приборам: в режиме измерения напряжения — высокое входное сопротивление, в режиме измерения сопротивлений — широкий диапазон (от единиц ом до единиц мегом).

Вместе с тем практически отсутствовала необходимость измерения токов порядка микроампер и не предъявлялось жестких требований к уменьшению падения напряжения на приборе в режиме измерения тока. Действительно, при питающих напряжениях порядка нескольких десятков и даже сотен вольт падение напряжения на приборе в режиме измерения тока до 1 *в* не приводит к заметному изменению режима исследуемой цепи.

Незначительная крутизна всех характеристик электровакуумных приборов явилась причиной того, что к комбинированным измерительным приборам не предъявлялись требования измерения постоянных напряжений в области единиц — сотен милливольт.

Последние годы характеризуются массовым внедрением в радиоэлектронную аппаратуру полупроводниковых приборов. Три наиболее распространенных уже в настоящее время представителя этого класса приборов — диод, транзистор и особенно туннельный диод отличаются большой крутизной и малой протяженностью характеристик. Это обстоятельство требует расширения пределов измерений постоянного напряжения в сторону уменьшения до единиц милливольт, а наличие неуправляемых токов транзисторов и диодов приводит к необходимости измерять токи порядка единиц микроампер. Схемы на полупроводниковых приборах в ряде случаев требуют низковольтных источников питания (единицы вольт, иногда

до одного вольта). Очевидно, что падение напряжения при измерении тока в этих схемах может существенно исказить их режим, поэтому оно должно быть минимальным (не превышать 50 *мв*).

Следует отметить, что в ряде применений электровакуумные приборы в течение ближайших лет сохранят свои позиции, поэтому высокое внутреннее сопротивление вольтметра и наличие пределов измерения напряжения на сотни вольт не могут быть исключены из числа требований к комбинированным измерительным приборам. Высокое внутреннее сопротивление вольтметра также является необходимым при работе со схемами на полевых транзисторах, отличающихся, как и лампы, высоким входным сопротивлением.

Из приведенных соображений можно сделать вывод о том, что требования к современному комбинированному измерительному прибору должны быть значительно изменены в части повышения чувствительности как по току, так и по напряжению на постоянном и переменном токе. Кроме того, представляется целесообразным, чтобы современный комбинированный измерительный прибор был рассчитан еще и на измерения основных параметров маломощных транзисторов и диодов, которые в настоящее время получили массовое применение.

Характерным для полупроводниковых приборов является значительный разброс параметров различных экземпляров одного типа полупроводникового прибора и зависимость их параметров от температуры. Знание конкретных параметров используемых экземпляров полупроводниковых приборов позволяет принимать правильные технические решения в процессе разработки, а иногда и при налаживании различных электронных схем. Следует предостеречь, однако, от наблюдающихся еще иногда тенденций к отбору отдельных экземпляров полупроводниковых приборов по результатам замеров их параметров, так как эта мера не может обеспечить возможности промышленного воспроизведения разработанных схем и приводит к неиспользованию большого количества годных полупроводниковых приборов, соответствующих всем требованиям своих технических условий.

КРАТКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАСПРОСТРАНЕННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Как отечественная, так и зарубежная промышленность за длительный период времени выпустила и продолжает выпускать большое количество типов комбинированных измерительных приборов (авометров), электрические характеристики которых косвенным образом отражают былую монополию в радиоэлектронике электровакуумных приборов. Широкое распространение, например, получили приборы Ц-20, АВО-5М, Ц 52, Ц-57 и др. [Л.1, 5, 14].

Получили известность и некоторые типы зарубежных универсальных приборов, например австрийские приборы типа «Герц Универсаль 3» и приборы серии «Унигор». В последнее время на международный рынок выходит также универсальный измерительный прибор типа PU-120 производства ЧССР, который, однако, не рассчитан на измерение переменного тока.

Все эти приборы отличаются высоким (по сравнению с другими массовыми приборами) внутренним сопротивлением в режиме измерения постоянного напряжения (10—20 *ком/в*). Такое входное

сопротивление сегодня уже нельзя считать достаточно высоким для практического применения, однако его повышение ограничено чувствительностью стрелочных измерителей магнитоэлектрической системы, которая, как правило, не превышает 50 *мка* на всю шкалу. Достаточно высоким можно считать внутреннее сопротивление вольтметра порядка 100 *ком/в* и более.

Падение напряжения для распространенных типов приборов при измерении постоянного тока находится в пределах 100—400 *мв*, а при измерении переменного тока достигает 1—1,5 *в*, что не соответствует изложенным выше требованиям. Отсутствие усилителей в составе указанных приборов и неидеальность характеристик выпрямительных диодов неизбежно приводят к резкому снижению внутреннего сопротивления, к нелинейности шкал при измерениях переменных напряжений, особенно на низковольтных шкалах, к невозможности измерения малых переменных напряжений и токов. Заметное неудобство в эксплуатации распространенных приборов представляет потребность во внешнем источнике питания для измерения сопротивлений более 1 *Мом*.

Большинство приведенных выше замечаний может быть отнесено также к новым типам авометров, таким как: Ц4313, Ц4314, **Ц4315, Ц4325 и Ц4341 [Л. 20]**.

Внедрение в электроизмерительную технику полупроводниковых приборов уже позволило частично реализовать возросшие требования к комбинированным измерительным приборам, сохранив их компактность, легкость и экономичность. К настоящему времени промышленностью разработан и освоен ряд измерительных приборов с применением транзисторов, как, например, милливольтметры переменного тока Ф431 [Л. 2] и Ф431/2 [Л. 3], ампервольтомметр Ф432 [Л. 2], универсальный вольтметр ВК7-6 [Л. 4].

Характеристики этих приборов значительно улучшены. Входное сопротивление прибора Ф431/2 составляет 100 *ком/в* (нижний предел измерения 5 *мв*), у прибора Ф432 на переменном, а у прибора ВК7-6 на постоянном токе входное сопротивление 1 *Мом/в*. Вместе с тем перечисленные приборы не лишены недостатков. Приборы Ф431 и Ф431/2, например, не являются универсальными (измеряют только переменное напряжение). Параметры Ф432 на постоянном токе посредственны (внутреннее сопротивление 16,7 *ком/в*, нижний предел измерения напряжения 6 *в*, нижний предел измерения тока 60 *мка*). Прибор ВК7-6 при измерении переменного напряжения имеет пониженное входное сопротивление (50—100 *ком/в*), не измеряет переменный ток, его чувствительность по напряжению низка (нижний предел постоянного напряжения 100 *мв*, нижний предел переменного напряжения 1 *в*). Кроме того, прибор ВК7-6 неудобен в эксплуатации из-за необходимости производить большое количество регулировок при подготовке к измерениям. Общим недостатком указанных приборов, ограничивающим их использование в полевых условиях, является узкий рабочий диапазон окружающей температуры (чаще всего от 10 до 35° С).

Промышленность выпускает также комбинированные приборы Ф434 [Л. 2,5]; Ц39 и Ц4341, которые кроме авометра, имеют в своем составе испытатель транзисторов, позволяющий измерять обратный ток коллекторного перехода и коэффициент усиления. Авометр этих приборов не имеет усилителя, поэтому его чувствительность невысока.

Прибор ИТТ-1М [Л. 22] по электрическим характеристикам близок к прибору Ф434.

В радиотехнической литературе [Л.6—10, 15, 23] описано большое количество радиолюбительских измерительных приборов типа авометра с применением транзисторов. Некоторые из этих приборов имеют высокое входное сопротивление (более 100 *ком/в*) и повышенную чувствительность по напряжению только на постоянном или только на переменном токе. Для достижения этой цели в одной из наиболее интересных разработок (милливольтметре — приставке к авометру) [Л. 19] используется перспективный принцип преобразования измеряемого постоянного напряжения в переменное с последующим усилением и синхронным детектированием. Вместе с тем отсутствуют публикации о простых комбинированных приборах, имеющих высокое входное сопротивление и высокую чувствительность, которые обеспечивают возможность измерения напряжений порядка милливольт как на переменном, так и на постоянном токе. Что касается измерения параметров транзисторов и диодов, то в литературе имеются рекомендации по усовершенствованию промышленных авометров [Л. 11, 12] и описания многих разновидностей радиолюбительских приборов, которые, как правило, автономны (не объединены в единую компактную конструкцию вместе с авометром). Все эти разновидности приборов отличаются, в основном, способом и условиями измерения коэффициента усиления и обратного тока коллекторного перехода, но не позволяют измерять параметры транзистора в режиме насыщения. Не является исключением в этом отношении и выпускаемый промышленностью испытатель транзисторов ИПТ-1 [Л. 14].

Следует отметить характерный недостаток большинства радиолюбительских испытателей транзисторов и промышленного прибора типа ИПТ-1, заключающийся в том, что реальная точность измерения. параметров транзисторов упомянутыми приборами низка. Это объясняется резкой зависимостью показаний приборов от напряжения батареи питания, которая в процессе эксплуатации естественно стареет и разряжается.

Из приведенного выше краткого обзора следует вывод о том, что к настоящему времени еще не освоен промышленный выпуск и отсутствуют публикации о радиолюбительских разработках достаточно простых комбинированных приборов с автономным питанием, которые обладают улучшенными характеристиками как на постоянном, так и на переменном токе и позволяют измерять основные параметры транзисторов в запертом состоянии, в режиме усиления и при насыщении, а также основные параметры диодов. Этот вывод и явился причиной разработки описанного ниже многоцелевого комбинированного измерительного прибора, названного МКИП-1.

В совершенствовании принципиальной схемы прибора, в разработке его конструкции, в испытаниях и усовершенствовании прибора непосредственное участие наряду с автором принимал Н. И. Самаренко, который также организовал изготовление партии приборов и осуществил их налаживание.

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МНОГОЦЕЛЕВОГО КОМБИНИРОВАННОГО ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Описываемый многоцелевой комбинированный прибор МКИП-1 может найти широкое применение при разработке, налаживании и испытаниях современной радиоэлектронной аппаратуры как в лабо-

раторных, так и в полевых условиях. Он относительно прост в изготовлении и налаживании, поэтому может быть легко изготовлен и налажен радиотехником или опытным радиолюбителем.

При разработке прибора основное внимание было уделено решению следующих задач: обеспечению высокой чувствительности по току и напряжению как на постоянном, так и на переменном токе; обеспечению одних и тех же пределов измерений для постоянных и переменных токов и напряжений; обеспечению возможности раздельного измерения постоянной и переменной составляющих напряжения и тока; расширению пределов измерения сопротивлений без применения дополнительного источника напряжения; обеспечению возможности измерения параметров маломощных транзисторов в типовом усилительном режиме, а также в запертом и насыщенном состоянии; обеспечению возможности приближенного построения вольт-амперных характеристик прямой ветви маломощных диодов или эмиттерно-базовых переходов маломощных транзисторов, а также измерения обратного тока маломощных диодов; достижению максимального удобства при работе с прибором; обеспечению стабильной работы и высокой точности показаний прибора в широком интервале окружающей температуры и при частично разряженных батареях; использованию распространенных типов комплектующих изделий; обеспечению простоты конструкции прибора и легкости его налаживания.

Прибор позволяет измерять:

1. Напряжение постоянного и переменного тока до 600 *в* на десяти поддиапазонах (из них пять основных: 0—20, 0—200 *мв*, 0—2, 0—20, 0—200 *в* и пять дополнительных: 0—60, 0—600 *мв*, 0—6, 0—60, 0—600 *в*). Входное сопротивление на основных поддиапазонах 200 *ком/в*, а на дополнительных около 67 *ком/в*. Минимально измеряемое напряжение постоянного тока 1 *мв*, переменного тока — 3 *мв*. Погрешность измерений напряжения постоянного тока не более ±2,5% от верхнего предела измерений на каждом поддиапазоне, кроме поддиапазонов 0—20 *мв*, 0—200 и 0—600 *в*, где погрешность не превышает ±4%. Частотный диапазон прибора при измерении напряжения переменного тока на поддиапазонах 0—20, 0—60, 0—200, 0—600 *мв* и 0—2 *в* от 20 *гц* до 100 *кгц*, на поддиапазонах 0—6 и 0—20 *в* от 20 *гц* до 50 *кгц*, на поддиапазонах 0—60 и 0—200 *в* от 20 *гц* до 5 *кгц* и на поддиапазоне 0—600 *в* от 20 *гц* до 1 *кгц*. Погрешность измерений напряжения переменного тока не более ±4% от верхнего предела измерений на каждом поддиапазоне, кроме поддиапазонов 0—20 *мв*, 0—200 и 0—600 *в*, где погрешность не превышает ±6%.

2. Силу постоянного и переменного тока до 0,6 *а* на одиннадцати поддиапазонах (из них шесть основных: 0—5, 0—20, 0—200 *мка*, 0—2, 0—20, 0—200 *ма* и пять дополнительных: 0—60, 0—600 *мка*, 0—6, 0—60, 0—600 *ма*). Падение напряжения на приборе при измерении тока на основных поддиапазонах не превышает 20, а на дополнительных — 60 *мв*. Минимальный измеряемый постоянный ток 0,2, переменный ток 0,75 *мка*. Погрешность измерений постоянного тока не более ±4% от верхнего предела измерений на каждом основном и не более ±2,5% на каждом дополнительном поддиапазоне, кроме поддиапазона 0—600 *ма*, где погрешность не превышает ±4%. Частотный диапазон прибора при измерении переменного тока на всех поддиапазонах от 20 *гц* до 100 *кгц*. Погрешность измерений переменного тока не более ±6% от верхнего предела измерений на каждом основном и не более ±4% на каждом дополни-

тельном поддиапазоне, кроме поддиапазона 0—600 *ма*, где погрешность не превышает ±6%.

3. Сопротивление постоянному току от 0,5 *ом* до 10 *Мом* на пяти поддиапазонах (×0,1, ×1, ×10, ×100 и ×1 000). Погрешность измерений сопротивления не более ±2,5%.

4. Следующие параметры германиевых и кремниевых *p-n-p* и *n-p-n* маломощных транзисторов: обратный ток коллекторного перехода $I_{к.о}$ в пределах 0—50 *мка* при напряжении между коллектором и базой 5 *в*; начальный ток коллектора $I_{к.н}$ в пределах 0—50 *мка* при короткозамкнутых эмиттере и базе и напряжении коллектора 5 *в*; коэффициент усиления $\beta=\Delta I_к/\Delta I_б$ в пределах от 8 до 200 при токе коллектора 1 *ма* и напряжении между коллектором и эмиттером 4 *в*; напряжение между коллектором и эмиттером насыщенного транзистора $U_{к.э.н}$ в пределах от 0 до 2 *в* при токе коллектора 9∓5 *ма* и токе базы 1 *ма* (при $\beta<10$ транзистор ненасыщен); имеется возможность определения точного значения тока коллектора, при котором произведено измерение $U_{к.э.н}$, что позволяет вычислить внутреннее сопротивление насыщенного транзистора; напряжение между базой и эмиттером насыщенного транзистора $U_{б.э10}$ в пределах от 0 до 2 *в* при токе базы 10 *ма* и при токе коллектора 10 *ма;* напряжение между базой и эмиттером насыщенного транзистора $U_{б.э1}$ в пределах от 0 до 2 *в* при токе базы 1 *ма* и при токе коллектора 10 *ма;* напряжение между базой и эмиттером транзистора $U_{б\ э0,1}$, работающего в усилительном режиме, в пределах от 0 до 2 *в* при токе базы 0,1 *ма* и токе коллектора 0,1×β (по результатам замеров $U_{б.э10}$, $U_{б.э1}$ и $U_{б.э0,1}$ имеется возможность приближенного построения входных характеристик транзисторов); ток базы запертого транзистора $I_{б.о}$ в пределах от 0 до 50 *мка* при запирающих напряжениях относительно базы на эмиттере 2 и на коллекторе 5 *в*; обратный ток эмиттерного перехода $I_{э.о}$ в пределах 0—50 *мка* при напряжении между эмиттером и базой 2 *в*.

Точность измерения перечисленных параметров транзистора не ниже ±15%.

5. Следующие параметры германиевых и кремниевых диодов малой мощности: три значения прямого напряжения на диоде при токах через диод 10, 1 и 0,1 *ма* соответственно в пределах от 0 до 2 *в* (по результатам этих замеров имеется возможность приближенного построения прямой ветви вольт-амперных характеристик диодов), обратный ток диодов в пределах от 0 до 50 *мка* при напряжениях 2 и 5 *в*. Точность измерения указанных параметров не ниже ±15%.

6. Индуктивность катушек в пределах от долей миллигенри до тысяч генри и емкость конденсаторов в пределах от 10 *пф* до 1 000 *мкф* (с помощью генератора звуковой частоты).

Комбинированный прибор питается от четырех гальванических элементов типа ФБС-0,25 и потребляет ток 2—3 *ма* в режиме авометра, от 1 до 26 *ма* при проверке транзисторов и от 1 до 15 *ма* при проверке диодов.

Все приведенные выше погрешности измерений справедливы для температуры окружающей среды от 10 до 35° С, однако прибор имеет достаточно хорошие характеристики в интервале от —20 до +55° С. При работе в широком интервале температуры окружающей среды следует руководствоваться тем, что при изменении температуры за пределы от 10 до 35° С каждые дополнительные 10° С вызывают дополнительную погрешность измерения не более 1% для

постоянного напряжения и тока и не более ±1,5% для переменного напряжения и тока.

Габариты прибора 213 × 118 × 100 *мм* (высота корпуса 63 *мм*), масса 1,5 *кг*.

СХЕМА ПРИБОРА

В приборе МКИП-1 можно выделить следующие основные функциональные узлы: стрелочный измеритель, усилитель, схему для измерения напряжений, токов и сопротивлений, диодный детектор, схему для измерения параметров транзисторов и диодов и источники питания (батареи). Полная принципиальная схема прибора показана на рис. 1.

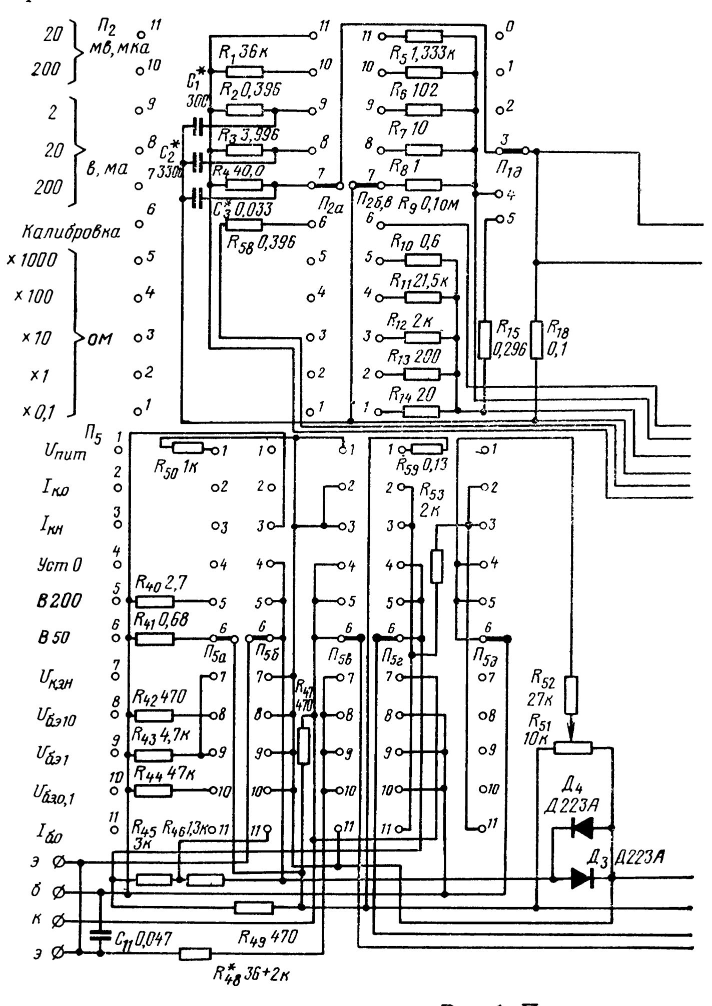


Рис. 1. Принципиальная

Стрелочный измеритель. От характеристик стрелочного измерителя зависят требования, предъявляемые к другим узлам прибора, поэтому выбор типа измерителя практически определяет структуру прибора.

Из основных характеристик прибора следует, что максимальная чувствительность его по току в режиме измерения параметров транзисторов и диодов должна составлять 50 *мка* при отклонении на всю шкалу. Это обстоятельство является решающим в выборе типа стрелочного измерителя, так как при токе полного отклонения в 50 *мка* отпадает необходимость применять дополнительный усилитель при измерении параметров транзисторов и диодов.

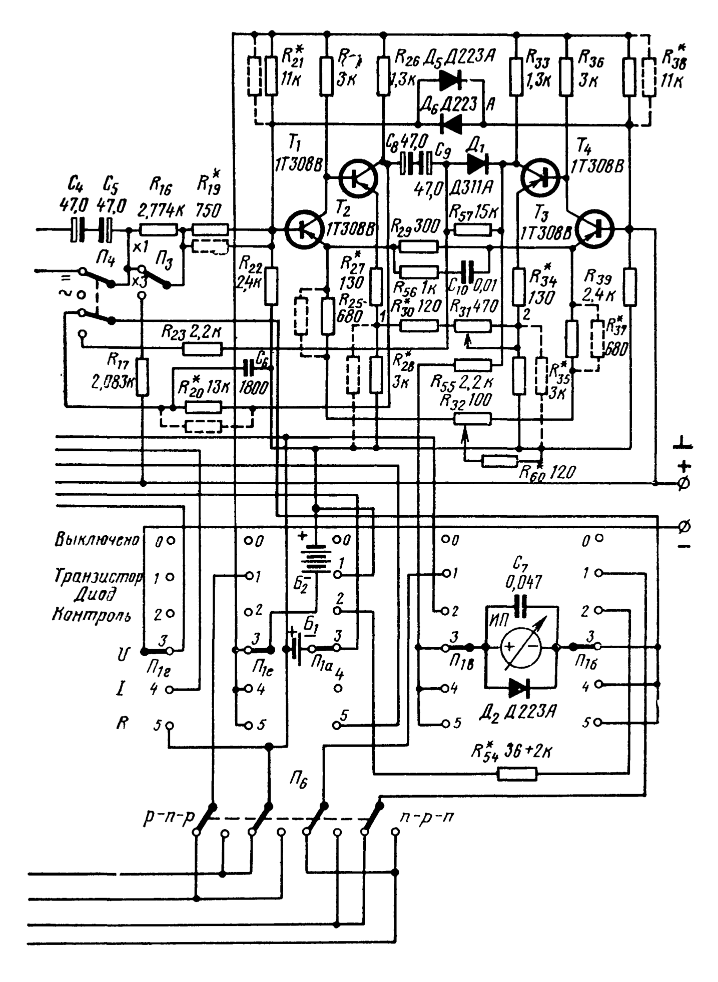


схема прибора МКИП-1.

Из числа выпускаемых промышленностью измерителей с током полного отклонения 50 *мка* выбран измеритель типа М494 как малогабаритный прибор с относительно длинной шкалой, обладающий достаточной точностью. Внутреннее сопротивление этого измерителя около 2 *ком*. Может быть использован также микроамперметр типа М-24, имеющий большую площадь шкалы, однако его корпус в этом случае нуждается в переделке.

Требования к усилителю. Усилитель предназначен для повышения чувствительности прибора до требуемой величины по току и напряжению как на постоянном, так и на переменном токе. Полное отклонение стрелочного измерителя для наиболее чувствительных поддиапазонов измерения должно соответствовать 5 *мка* по току и 20 *мв* по напряжению. Очевидно, что для измерения столь слабого переменного напряжения и тока его выпрямление необходимо производить после усиления. Коэффициент усиления усилителя должен быть достаточным для того, чтобы выходное напряжение было около 1 *в*. При таком переменном напряжении на входе выпрямителя, собранного на диоде с крутой и короткой характеристикой, можно получить почти равномерную градуировку шкалы (за исключением начального ее участка).

Таким образом, исходя из необходимости измерения напряжения переменного тока на поддиапазоне 20 *мв*, усилитель должен иметь коэффициент усиления по напряжению около 50. Для измерения напряжения постоянного тока на поддиапазоне 20 *мв* такой коэффициент усиления более чем достаточен, так как при этом в цепи отсутствует диодный выпрямитель, обладающий значительными потерями. Требуемой чувствительности по току при заданной чувствительности по напряжению соответствует определенное входное сопротивление усилителя.

Очевидно, что точность измерений прибора в значительной степени зависит от точности поддержания в норме основных параметров усилителя, а именно, коэффициента усиления и входного сопротивления. Поскольку усилитель прибора питается от батарей, которые в процессе эксплуатации снижают свое напряжение, что отражается на коэффициенте усиления, необходимо предусмотреть регулировку коэффициента усиления усилителя для его нормирования (проведение калибровки) непосредственно перед измерениями. Эта мера позволяет также не предъявлять чрезмерных требований к температурной и временной стабильности коэффициента усиления усилителя. Для получения при помощи одного органа регулировки одновременной калибровки прибора как по напряжению, так и по току необходимо, чтобы входное сопротивление усилителя не изменялось при проведении калибровки, а было стабильным как при изменении напряжения источника питания, так и при изменении температуры окружающей среды.

В промышленных и любительских измерительных приборах с транзисторными усилителями относительно стабильное входное сопротивление обычно получают, включая последовательно со входом усилителя резистор, сопротивление которого намного превышает входное сопротивление усилителя. При уменьшении этого добавочного сопротивления стабильность входного сопротивления усилителя падает. Вот почему большинство промышленных и любительских транзисторных вольтметров имеет повышенную погрешность на низших пределах измерения напряжения.

Ясно, что включение последовательного сопротивления значительной величины препятствует реализации высокой чувствительно-

сти прибора по напряжению. Это обстоятельство и явилось причиной выбора другого способа стабилизации входного сопротивления усилителя. Суть этого способа заключается в том, что параллельно входу усилителя с высоким и недостаточно стабильным входным сопротивлением подключается резистор (шунт), сопротивление которого во много раз меньше входного сопротивления усилителя. Такой способ в сочетании со стабилизацией коэффициента усиления усилителя по напряжению позволяет реализовать малые погрешности измерений при высокой чувствительности прибора по напряжению.

Чтобы получить полное отклонение стрелки измерителя при измерении тока 5 *мка* при напряжении 20 *мв*, стабилизированное входное сопротивление усилителя должно составлять 4 *ком*. Для обеспечения достаточной стабилизации принято, что входное сопротивление самого усилителя должно минимум в 3 раза превышать стабилизированное входное сопротивление, т. е быть не менее 12 *ком*. Именно эта величина и характеризует одно из основных требований, предъявляемых к усилителю.

Известно, что из всех параметров транзистора наиболее подвержены влиянию температуры обратный ток коллекторного перехода $I_{к.о}$, коэффициент усиления β и напряжение между базой и эмиттером $U_{б.э}$, соответствующее выбранному значению тока базы транзистора. Нестабильность указанных параметров служит причиной температурного и временного дрейфа нуля и коэффициента усиления транзисторных усилителей напряжения постоянного тока. Поэтому важно выбрать такую схему усилителя, при которой изменение параметров транзисторов оказывало бы минимальное влияние на коэффициент усиления и нуль усилителя.

Основные схемотехнические приемы стабилизации усилителей с непосредственными связями заключаются в использовании глубокой отрицательной обратной связи и применении схем параллельно-балансного типа. Глубокая отрицательная обратная связь помимо стабилизирующего воздействия на выходные параметры позволяет также получить необходимое входное сопротивление усилителя. Поскольку входное сопротивление, как было показано выше, должно быть высоким, целесообразно применить в усилителе последовательную отрицательную обратную связь по току, повышающую входное сопротивление. Стабилизирующее действие параллельно-балансных схем основывается на том, что приращения коллекторных токов обоих транзисторов, вызванные температурным и временным изменением параметров $I_{к.о}$, β, а также $U_{б.э}$, вычитаются в нагрузке, в связи с чем положение рабочей точки меняется значительно меньше. Стабильность нулевой (рабочей) точки будет тем выше, чем тщательней подобраны пары транзисторов по идентичности их параметров.

Немаловажную роль в стабильности балансных усилителей играет выбор типа транзисторов. Подбор транзисторов по идентичности их характеристик сопряжен с большими трудностями и экономически невыгоден. Поэтому целесообразно выбрать такой тип транзистора, который обладает минимальным производственным разбросом параметров β, $I_{к.о}$ и $U_{б.э}$ в возможно более широком интервале температур. Желательно также, чтобы значение β было большим и имело малую температурную зависимость, а значение $I_{к.о}$ было малым. Большое значение β позволяет ввести в усилитель глубокую отрицательную обратную связь, стабилизируя тем самым его параметры и повышая его входное сопротивление, а малое значение $I_{к.о}$

создает более стабильный режим работы усилителя при малых коллекторных токах.

Особо следует остановиться на идентичности напряжений $U_{б.э}$ транзисторов балансной схемы, предназначенной для измерения малых напряжений. В случае неравенства напряжений $U_{б.э}$ к входу усилителя (между базами транзисторов) будет приложена их разность, а это приводит к тому, что при подсоединении усилителя к низкоомному источнику сигнала или при шунтировании входа усилителя низкоомным сопротивлением баланс нуля нарушается.

Указанное обстоятельство, если не принимать специальных мер, требует установки нуля двумя раздельными органами регулировки в режиме холостого хода входной цепи и в режиме ее короткого замыкания. Наличие же двух органов регулировки нуля, оказывающих взаимное влияние друг на друга, значительно усложняет эксплуатацию измерительного прибора и поэтому является крупным недостатком как промышленных образцов, так и любительских конструкций [Л. 15, 16].

При разработке описываемого прибора было предъявлено требование допустимости лишь одного органа установки нуля. Реализация этого требования только путем индивидуального подбора пар транзисторов с идентичными до единиц милливольт значениями $U_{б.э}$ при сохранении этой идентичности в рабочем интервале температур задача практически невыполнимая, поэтому предъявленное требование должно выполняться путем оптимального построения схемы усилителя. Однако выбор типа транзистора, для которого производственный разброс значений $U_{б.э}$ мал, значительно облегчает решение задачи.

При выборе типа транзистора следует также учитывать то обстоятельство, что усилитель должен обладать очень равномерной частотной характеристикой от нуля до 100 *кгц*, чтобы дополнительная погрешность измерения в указанной полосе частот была минимальной. Наиболее полно всему комплексу предъявляемых требований удовлетворяют сплавно-диффузионные транзисторы типа 1Т308В. Температурные изменения параметров этого типа транзисторов проявляются менее резко [Л. 17]. Особенно хорошую температурную стабильность, малый производственный разброс и значительную величину (80—150) имеет коэффициент усиления транзистора. Обратный ток коллекторного перехода транзистора 1Т308В незначителен, а предельная частота этого транзистора высока. Забегая вперед, можно отметить, что при использвании комбинированного прибора в ограниченном интервале рабочих температур от 10 до 35° С необходимость какого бы то ни было отбора транзисторов типа 1Т308В для установки их в разработанный усилитель отпадает. Еще лучшие результаты можно получить, используя в усилителе микросхему типа 2НТ172 или 2НТ013, которая содержит четыре идентичных транзисгора.

Ранее было указано, что для повышения стабильности входного сопротивления усилителя целесообразно относительно высокое входное сопротивление его транзисторов (достигнутое применением глубокой отрицательной обратной связи) шунтировать сравнительно низкоомным сопротивлением резистора. Постоянное шунтирование входа усилителя практически исключает режим холостого хода его входной цепи, а это дает возможность применить только один орган установки нуля.

Необходимо отметить, что входное сопротивление параллельной балансной схемы вдвое выше, чем небалансной. Это значит, что при

входном сопротивлении балансной схемы согласно приведенному выше обоснованию не менее 12 *ком* входное сопротивление каждого плеча схемы должно быть не менее 6 *ком*, что облегчает требования к каждому плечу балансной схемы.

Глубокая отрицательная обратная связь препятствует получению от одного балансного каскада необходимого коэффициента усиления (около 50), что заставляет применить дополнительный каскад, также выполненный по параллельно-балансной схеме и стабилизированной последовательной отрицательной обратной связью по току. Правильный выбор режима двухкаскадного усилителя с непосредственной связью позволяет улучшить результирующую температурную стабильность усилителя и уменьшить зависимость его характеристик от изменения напряжения питания [Л. 18]. Двухкаскадный усилитель позволяет также осуществлять регулировку его коэффициента усиления (эта мера нужна для калибровки измерительного прибора), не оказывая заметного влияния ни на входное, ни на выходное сопротивление усилителя и не нарушая установку его нуля.

Целесообразность поддержания неизменной величины выходного сопротивления вытекает из того, что при измерении переменного тока и напряжения нагрузкой усилителя служит диодный выпрямитель, обладающий существенно нелинейным характером входного сопротивления. Если выходное сопротивление усилителя в процессе калибровки его коэффициента усиления будет изменяться, то возникнет дополнительная погрешность показаний на неравномерной шкале переменного тока и напряжения. Это обстоятельство заставило отступить от общепринятого способа включения калибровочного потенциометра последовательно со стрелочным измерителем на выходе усилителя и потребовало осуществления калибровки усилителя в точках, существенно развязанных как от входа, так и от выхода.

Схема усилителя. Все высказанные выше требования и рекомендации общего порядка нашли свое конкретное воплощение в усилителе, принципиальная схема которого приведена на рис. 2.

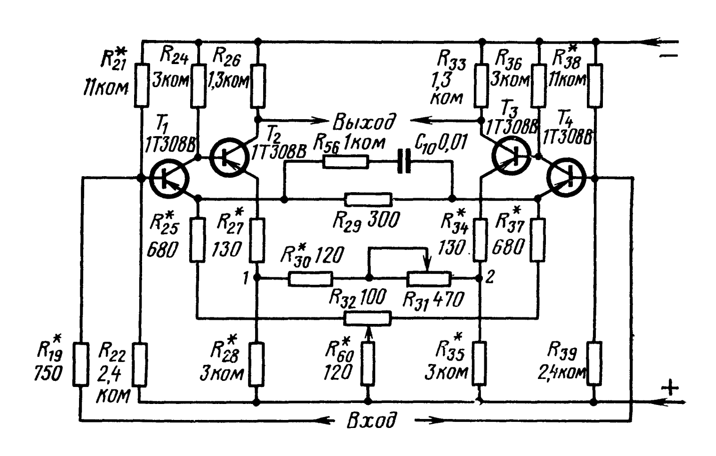


Рис. 2. Схема усилителя.

Для питания усилителя используется батарея напряжением около 4,5 *в*, составленная из трех последовательно соединенных гальванических элементов типа ФБС-0,25. Параметры усилителя сохраняются при изменении напряжения питания от 5 до 3 *в* в широком интервале окружающей температуры. Применение более низковольтного источника питания не позволяет добиться глубокой стабилизации режима усилителя и получить при этом выходное напряжение около 1 *в*, а ранее было показано, что напряжение такой величины необходимо для нормальной работы выпрямительного диода при использовании прибора в режиме измерения переменного тока и напряжения. Номинальный ток каждого из транзисторов усилителя выбран в пределах 0,6—0,7 *ма*.

Входной каскад усилителя собран по параллельно-балансной схеме на транзисторах T_1 и T_4. Оба плеча усилителя абсолютно симметричны, поэтому достаточно рассмотреть особенности структуры одного из плеч.

Токовый режим транзистора T_1 определяется базовым делителем $R_{21}R_{22}$ и эмиттерными резисторами $R_{25}R_{32}R_{60}$. Стабильность режима достигается относительно низким эквивалентным сопротивлением делителя (несколько менее 2 *ком*) и большим значением суммарного эмиттерного сопротивления (около 800 *ом*). Потенциометр R_{32} позволяет в небольших пределах перераспределять эмиттерные токи транзисторов T_1 и T_4, т. е. производить балансировку усилителя (установку его нуля).

Входное сопротивление и коэффициент усиления каскада определяются параллельным соединением резистора R_{29} и цепочки из резисторов R_{25}, R_{32}, R_{37}. Результирующее сопротивление между эмиттерами транзисторов T_1 и T_4 составляет 250 *ом*, что соответствует эквивалентному эмиттерному сопротивлению для каждого плеча около 125 *ом*. Эта величина гарантирует получение достаточно высокого входного сопротивления усилителя. Подборный резистор R_{19} позволяет при настройке прибора точно отнормировать входное сопротивление усилителя.

На коллекторах транзисторов T_1 и T_4 сбалансированного каскада имеется постоянное напряжение около 2,5 *в*. Это напряжение, а также суммарное сопротивление эмиттерных резисторов $R_{27}R_{28}$ для транзистора T_2 и $R_{34}R_{35}$ для транзистора T_3 определяют токовый режим транзисторов выходного балансного каскада. Стабильность этого режима достаточно высока благодаря большому сопротивлению эмиттерных резисторов (более 3 *ком*) и взаимной компенсации дрейфов входного и выходного каскадов. Переменный резистор R_{31} в небольших пределах изменяет величину результирующего сопротивления между эмиттерами транзисторов T_2 и T_3, что позволяет осуществить изменение коэффициента усиления усилителя при проведении его калибровки. Подборный резистор R_{30} позволяет во время налаживания усилителя отнормировать его коэффициент усиления при условленном положении переменного калибровочного резистора R_{31}.

Для предотвращения возможного ухода нуля, который может возникнуть при проведении калибровки прибора, цепочка из резисторов R_{30} и R_{31} подключена не непосредственно к эмиттерам транзисторов T_2 и T_3, а к точкам *1* и *2*. Уход нуля может быть вызван некоторым неравенством напряжений в точках, между которыми регулируется сопротивление при калибровке. Неравенство напряжений на эмиттерах транзисторов T_2 и T_3 может иметь место даже при точной балансировке усилителя из-за производственного разброса

параметров транзисторов и сопротивлений резисторов. Подбором резисторов R_{27} и R_{34} при налаживании прибора достигают эквипотенциальности точек *1* и *2* в сбалансированном усилителе, не прибегая к отбору транзисторов, и тем самым устраняют уход нуля при проведении калибровки.

Калибровка прибора не вызывает заметного изменения входного и выходного сопротивлений усилителя. Выходное сопротивление усилителя практически равно сумме сопротивлений коллекторных нагрузок транзисторов T_2T_3 и составляет 2,6 *ком*. Цепочка из резистора R_{56} и конденсатора C_{10} служит для корректировки частотной характеристики всего усилителя в области высших частот.

Использование усилителя в режимах измерения постоянного и переменного напряжения иллюстрирует схема на рис. 3.

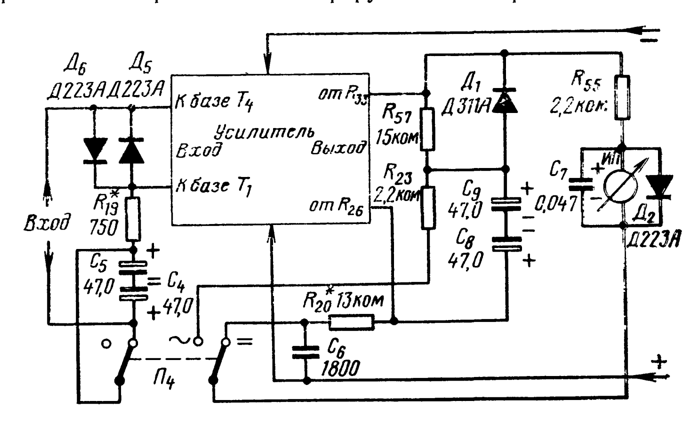


Рис. 3 Схема использования усилителя в режимах измерения напряжения постоянного и переменного тока.

При измерении постоянного напряжения переключатель $П_4$ устанавливают в положение =. В этом случае измеритель *ИП* через резисторы R_{20} и R_{55} подключен к выходу усилителя, а конденсаторы C_4 и C_5 замкнуты. Подбором сопротивления резистора R_{20} производится нормирование чувствительности прибора по постоянному напряжению. Конденсаторы C_6 и C_7 служат для предотвращения самовозбуждения усилителя, которое может возникнуть из-за паразитных емкостных связей между входными и выходными его цепями, коммутируемыми общим переключателем $П_4$.

Кремниевый диод $Д_2$ благодаря большому напряжению отсечки заперт во всем диапазоне возможных отклонений стрелки прибора. Вместе с тем при значительных перегрузках, вызванных неправильным выбором пределов измерений, этот диод предотвращает выход из строя стрелочного измерителя, так как ограничивает напряжение на нем до 0,6—07 *в*.

При измерении переменного напряжения измеритель *ИП* через резисторы R_{23} и R_{55} подключается к выходу однополупериодного выпрямителя, образованного диодом $Д_1$ типа Д311А, обладающего большой крутизной характеристики, и конденсаторами C_8 и C_9. Переменное напряжение подается на вход усилителя через раздели-

тельные конденсаторы C_4 и C_5, что позволяет исключить влияние постоянной составляющей измеряемого напряжения на режим усилителя.

Для измерения напряжений весьма низких частот емкость разделительных конденсаторов должна быть велика, поэтому они должны быть электролитическими. Неопределенность полярности постоянной составляющей входного напряжения вынуждает применить последовательно-встречное включение этих конденсаторов. Аналогично соединены конденсаторы C_8 и C_9, так как направление разбаланса усилителя до проведения установки его нуля может быть любым.

Высокоомный резистор R_{57} ускоряет переходные процессы изменения заряда конденсаторов C_8 и C_9 при резких скачках напряжения на выходе усилителя. Кремниевые диоды $Д_5$ и $Д_6$, обладая большим напряжением отсечки, на работу усилителя влияния не оказывают, так как максимальное напряжение сигнала на входе усилителя не превышает 60 *мв*. Эти диоды служат для защиты усилителя от аварийных перегрузок, которые могут возникнуть при случайной ошибке в выборе вида или предела измерений.

Схема измерения напряжений, токов и сопротивлений. Одним из основных положений при разработке описываемого прибора было требование минимального применения дефицитных комплектующих изделий. Оно послужило основанием для отказа от использования уникальных многопозиционных переключателей и явилось причиной выбора принятой схемы коммутации.

В приборе МКИП-1 применены широко распространенные галетные переключатели. Согласно требованиям к прибору при измерении напряжения, тока и сопротивления прибор должен иметь 26 пределов измерений (10 пределов измерения напряжения, 11 пределов измерения тока и 5 пределов измерения сопротивления). Для того чтобы сделать возможным применение галетного переключателя на 11 положений в качестве переключателя пределов измерений, приняты следующие меры.

Пределы измерения напряжения и тока совмещены так, что одному и тому же положению переключателя $П_2$ (см. рис. 1) соответствуют как предел измерения напряжения, так и предел измерения тока. Переключение же в режимы измерения напряжения или тока производится переключателем вида измерений $П_1$. Эта мера упрощает работу с прибором, так как уменьшает количество возможных переключений.

Для измерения напряжения и тока на переключателе $П_2$ выделено только пять положений. Каждое из них соответствует одному основному пределу измерения напряжения и тока (основные пределы измерения отличаются один от другого в 10 раз). Пять дополнительных пределов измерения напряжения и тока образуются при помощи отдельного двухпозиционного переключателя $П_3$, переключение которого вызывает трехкратное увеличение каждого из основных пределов измерений путем трехкратного уменьшения коэффициента усиления усилителя как по напряжению, так и по току.

Уменьшение коэффициента усиления усилителя достигается следующим образом. При переводе переключателя $П_3$ в положение $\times 3$ параллельно входу усилителя подключается резистор R_{17}, уменьшающий в 3 раза коэффициент усиления по току из-за шунтирования входа. Кроме того, включается резистор R_{16}, образующий совместно с входным сопротивлением усилителя, шунтированным резистором R_{17}, трехкратный делитель измеряемого напряжения. Сопротивления резисторов R_{16} и R_{17} выбраны такими, чтобы входное сопротивление

усилителя совместно с этими резисторами не изменилось. В положении $\times 1$ переключателя $П_3$ резистор R_{16} замкнут, а резистор R_{17} отключен.

Введение простого переключателя дополнительных пределов измерений $П_3$ помимо упрощения переключателя основных пределов измерений дает еще одно важное преимущество, заключающееся в том, что при этом вдвое уменьшается количество образцовых стабильных резисторов, образующих дополнительные сопротивления вольтметра и шунты амперметра.

Так как входное сопротивление усилителя с учетом шунтирующего действия вспомогательных цепей составляет 4 *ком*, а наиболее чувствительный предел измерения напряжения 20 *мв*, этот предел можно использовать как предел измерения тока 5 *мка*. Такая мера дает экономию еще одного положения переключателя $П_2$.

Перечисленные меры позволяют реализовать все 26 пределов измерений, занимая на переключателе пределов измерений $П_2$ всего 10 положений. Остающееся свободным одно из положений этого переключателя целесообразно выделить для проведения калибровки прибора. Для удобства работы с прибором калибровка должна соответствовать шестому положению переключателя $П_2$ (см. рис. 1).

Сущность калибровки при измерении напряжения и тока заключается в нормировании при помощи переменного резистора R_{31} коэффициента усиления усилителя по известному напряжению. При калибровке к входу усилителя через резистор R_{58}, превращающий прибор в вольтметр с пределом 2 *в*, подключается батарея $Б_1$, напряжение которой предварительно точно измеряется образцовым вольтметром. Последний с пределом измерения 2 *в* образуется при установке переключателя $П_1$ в положение *Контроль,* которое осуществляет последовательное соединение измерителя *ИП*, образцового резистора R_{54} и батареи $Б_1$.

Для измерения напряжений переключатель $П_1$ устанавливают в положение *U*. При этом в соответствии с необходимым пределом измерений последовательно с входными гнездами «+» и «—» включается один из образцовых резисторов $R_1 — R_4$, выполняющих функции добавочных сопротивлений. На пределе измерения 20 *мв* дополнительный резистор не требуется.

Конденсаторы $C_1 — C_3$ позволяют компенсировать ошибки измерений на высших частотах шести верхних пределов измерения напряжения (трех основных и трех дополнительных). Эти ошибки возникают в результате шунтирования высокоомных добавочных сопротивлений паразитными емкостями (емкостью монтажа, собственной емкостью резисторов и т. п.), что на высоких частотах равносильно уменьшению значений добавочных сопротивлений. Включение конденсаторов $C_1 — C_3$ параллельно входу усилителя образует компенсированный делитель, коэффициент передачи которого не зависит от частоты. При этом емкость каждого конденсатора должна во столько раз превышать паразитную емкость, во сколько раз соответствующее добавочное сопротивление превышает величину входного сопротивления усилителя.

Для измерения тока переключатель $П_1$ устанавливают в положение *I*. При этом в соответствии с необходимым пределом измерений параллельно входным гнездам «+» и «—» включается один из образцовых резисторов $R_5 — R_9$, выполняющих функции шунтов. Чтобы уменьшить погрешности измерений из-за сопротивления контактов переключателя, переключение шунтов осуществляется двумя соединенными параллельно направлениями переключателя $П_2$.

При измерении напряжения и силы переменного тока используются те же добавочные сопротивления и шунты, что и при измерении напряжения и силы постоянного тока. Чтобы защитить низковольтные конденсаторы C_4 и C_5 от пробоя в том случае, когда измеряется малое переменное напряжение при значительной постоянной составляющей, включен вспомогательный высокоомный резистор R_{18}. Схема рассчитана таким образом, что результирующее входное сопротивление усилителя с учетом незначительного шунтирующего действия резистора R_{18} точно равно 4 *ком* в обоих положениях переключателей $П_3$ и $П_4$.

Сущность калибровки прибора при измерении сопротивления заключается в нормировании при помощи переменного резистора R_{31} коэффициента усиления усилителя по образцовому резистору R_{15} путем установки стрелки измерителя *ИП* точно на нуль шкалы омметра. Измерять напряжение батареи $Б_1$ при этом не требуется.

Для измерения сопротивления переключатель $П_1$ устанавливают в положение *R*. При этом в соответствии с необходимым пределом измерений вход усилителя через резистор R_{15} подсоединяется параллельно одному из образцовых резисторов R_{10} — R_{14}. Измеряемое сопротивление подключают к гнездам **«+» и «—». При этом образуется** цепь протекания тока по контуру: положительный полюс батареи $Б_1$ — измеряемое сопротивление — один из резисторов R_{10}—R_{14}— отрицательный полюс батареи $Б_1$.

Сопротивления резисторов R_{10} — R_{14} рассчитаны так, что эквивалентное сопротивление цепочки, образованной каждым из указанных резисторов и сопротивлением 300 *ком* (последнее характеризует шунтирующий эффект резистора R_{15} и входного сопротивления усилителя), равно желаемому показанию измерителя *ИП* в средней точке его шкалы на соответствующем пределе измерений.

Схема измерения параметров транзисторов и диодов. Поскольку чувствительность микроамперметра выбранного типа достаточна, необходимость в использовании усилителя при измерении параметров транзисторов и диодов отпадает. Это дает возможность предельно упростить схему и использовать для нужд измерений обе батареи прибора, суммарное напряжение которых около 6 *в*. Последовательное соединение батарей $Б_1$ и $Б_2$ осуществляется при установке переключателя $П_1$ в положение *Транзистор* (см. рис. 1). Переключатель $П_6$ в зависимости от вида проводимости измеряемого транзистора (*p-n-p* или *n-p-n*) обеспечивает требуемую полярность питающего напряжения и соответствующую полярность включения измерителя *ИП*.

Работу прибора при измерении параметров транзисторов с проводимостью *p-n-p* и диодов удобно рассматривать, пользуясь упрощенными схемами, приведенными на рис. 4—6. Эти схемы справедливы и для транзисторов с проводимостью *n-p-n* при условии смены полярности питающего напряжения, полярности включения измерителя *ИП* и полярности включения диодов $Д_2$, $Д_4$.

Работу прибора в режиме измерения коэффициента усиления β иллюстрирует схема на рис. 4. Проверяемый транзистор подключают к гнездам *э*, *б* и *к*. Для предотвращения самовозбуждения схемы при проверке высокочастотных транзисторов к гнездам *э* и *б* подключен безындукционный конденсатор C_{11}. Измеритель *ИП* включен в диагональ моста, образованного проверяемым транзистором *T*, резистором R_{47}, последовательно соединенными резисторами R_{45}, R_{46} и резистором R_{49}. Балансировка моста осуществляется при установке переключателя $П_5$ в положение *Уст. 0* регулировкой потенциомет-

ра R_{51}, который через резистор R_{52} задает ток базы проверяемому транзистору. Схема рассчитана таким образом, что при номинальном напряжении питания мост оказывается сбалансированным при токе коллектора 1 *ма*. Область регулировки напряжения потенциометром R_{51} и сопротивление резистора R_{52} позволяют установить баланс моста при проверке любого транзистора с β более 8.

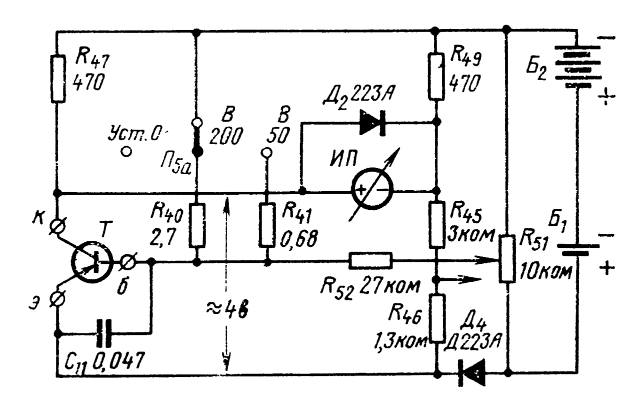


Рис. 4. Схема измерения коэффициента усиления β транзистора.

Для питания проверяемого транзистора по цепи эмиттер-коллектор суммарное напряжение батарей $Б_1$ и $Б_2$ уменьшается на 0,6—0,7 *в* (падение напряжения на прямом сопротивлении диода $Д_4$). Кремниевый диод типа Д223А имеет явно выраженное напряжение отсечки и высокую крутизну характеристики при токах более 1 *ма*. Это обстоятельство позволяет использовать его как стабилизатор напряжения 0,6—0,7 *в* при изменении тока через него 1—10 *ма*. Резисторы R_{45}, R_{46} и R_{49} способствуют прохождению тока около 1 *ма* даже при отсутствии транзистора, что улучшает степень стабилизации.

Напряжение на диоде $Д_4$ обеспечивает баланс моста (установку коллекторного тока в 1 *ма*) при проверке тех транзисторов, которые имеют повышенные значения обратного тока коллекторного перехода $I_{к.о}$ и коэффициента усиления β транзистора. Если бы диод $Д_4$ отсутствовал, то падение напряжения на высокоомном резисторе R_{52} (за счет тока $I_{к.о}$) могло вызвать отпирание транзистора даже при установке движка потенциометра R_{51} в нижнее (по схеме) положение. Напряжение на диоде $Д_4$, оказывая запирающее воздействие, позволяет компенсировать влияние больших токов $I_{к.о}$.

Кремниевый диод $Д_2$ ограничивает напряжение на измерителе *ИП* до 0,6—0,7 *в*, что позволяет защитить последний от опасных перегрузок, если проверяемый транзистор пробит по цепи коллектор — эмиттер. Вместе с тем большая величина напряжения отсечки диода $Д_2$ исключает влияние этого диода на показания прибора.

Таким образом, предварительная операция установки нуля позволяет установить режим измерений проверяемого транзистора (ток коллектора 1 *ма* при напряжении между коллектором и эмит-

тером около 4 *в*). Коэффициент усиления β определяется измерением степени разбаланса схемы, вызываемого нормированным приращением тока базы проверяемого транзистора. Нормированное же приращение тока базы осуществляется путем подключения к базе проверяемого транзистора высокоомного резистора R_{40} или R_{41}. При этом ответвление тока приращения в цепь резистора R_{52} незначительно, так как сопротивление этого резистора многократно превышает вероятные значения входного сопротивления проверяемого транзистора. Сопротивление резистора R_{41} соответствует коэффициенту усиления транзистора β до 50, а резистора R_{40} до 200. При желании расширить предел измерения β до 500 надо сопротивление резистора R_{40} увеличить до 6,8 *Мом.*

Для измерения обратного тока коллекторного перехода траизистора переключатель $П_5$ устанавливают в положение $I_{к.о}$. При этом, как показано на рис. 5, измеряется ток, протекающий в цепи база —

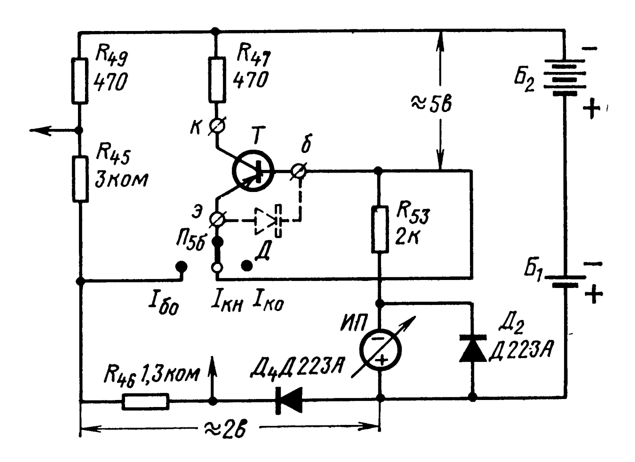


Рис. 5. Схема измерений токов $I_{к.о}$, $I_{к.н}$ и $I_{б.о}$ транзистора, а также обратного тока диода.

коллектор при отсоединенном эмиттере. Падение напряжения на резисторах R_{47} и R_{53} незначительно даже при наибольшей ожидаемой величине $I_{к.о}$, поэтому погрешность измерений, вызванная включением этих резисторов в схему, несущественна, а напряжение между базой и коллектором транзистора близко к 5 *в*. Резистор R_{47} оставлен в цепи коллектора только из стремления упростить коммутацию, резистор же R_{53} позволяет существенно ограничить ток, потребляемый от батарей при проверке транзистора, у которого имеется пробой между любой парой его электродов.

Измерение начального тока коллектора отличается от измерения $I_{к.о}$ только тем, что при установке переключателя $П_5$ в положение $I_{к.н}$ эмиттер транзистора соединяется с базой.

Измерение тока базы запертого транзистора производится при установке переключателя $П_5$ в положение $I_{б.о}$ и отличается от измерения $I_{к.о}$ тем, что к эмиттерно-базовому переходу транзистора подводится запирающее напряжение 2 *в*, которое снимается с ре-

зистора R_{46} и диода $Д_4$. Ограничение тока резистором R_{53} при измерении $I_{б.о}$ особенно важно, так как оно предотвращает необратимый пробой тех типов транзисторов, у которых электрическая прочность эмиттерно-базового перехода мала, как, например, у транзисторов типа 1Т313А-В. При динамическом пробое эмиттерно-базового перехода такого транзистора, вызванном установкой переключателя $П_5$ в положение $I_{б.о}$, ток в цепи эмиттера не превышает 0,5 *ма*, что обеспечивает восстановление перехода после снятия запирающего напряжения.

Ограниченные возможности переключателя $П_5$ не позволили должным образом организовать коммутацию цепей для измерения обратного тока эмиттера $I_{э.о}$ транзисторов. Поэтому в случае необходимости ток $I_{э.о}$ измеряют при установке переключателя $П_5$ в положение $I_{б.о}$ и при отсоединенном от гнезда *к* коллекторном выводе транзистора.

Установка переключателя $П_5$ в положение $I_{б.о}$ позволяет измерять также обратный ток диодов при запирающем напряжении 2 *в*. Проверяемые диоды подсоединяют к гнездам *э* и *б*, как показано на рис. 5 пунктиром.

Схема измерения напряжений $U_{к.э.н}$, $U_{б.э10}$, $U_{б.э1}$ и $U_{б.э0,1}$ приведена на рис. 6. Для измерения этих напряжений используется

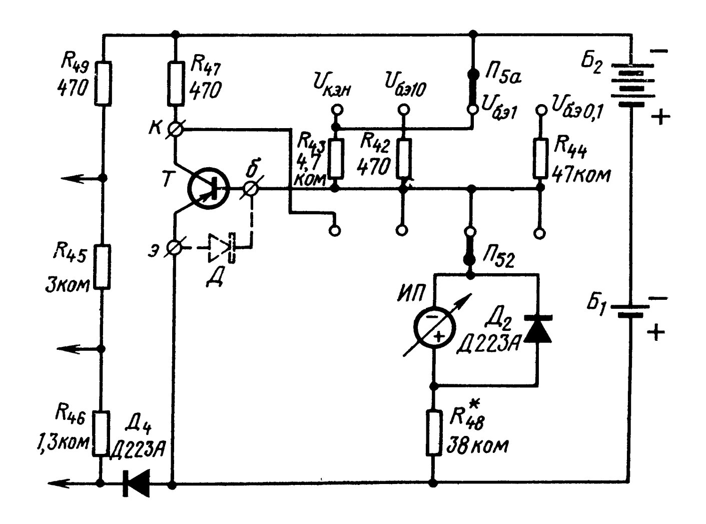


Рис. 6. Схема измерений напряжений $U_{к.э.н}$, $U_{б.э10}$, $U_{б.э1}$ и $U_{б.э0,1}$ транзистора, а также напряжений, соответствующих прямому току 10, 1 и 0,1 *ма* через диод.

вольтметр с пределом измерения 2 *в*, образованный измерителем ИП (микроамперметром) и резистором R_{48}, играющим роль добавочного с противления.

При измерении $U_{к.э.н}$ (напряжения на коллекторе транзистора в режиме насыщения) в базу транзистора через резистор R_{43} поступает ток около 1 *ма*, а вольтметр подсоединен к коллектору тран-

вистора. Коллекторный ток транзистора ограничен резистором R_{47} примерно до 10 *ма*, поэтому транзистор с $\beta \geqslant 10$ находится в режиме насыщения.

При измерении напряжений на эмиттерно-базовом переходе транзистора $U_{б.э10}$, $U_{б.э1}$ и $U_{б.э0,1}$ вольтметр подсоединяется к базе транзистора. При установке переключателя $П_5$ в положение $U_{б.э10}$ в базу транзистора через резистор R_{42} поступает ток около 10 *ма*, что позволяет получить насыщенный режим любых транзисторов. При переводе этого переключателя в положение $U_{б.э1}$ в базу транзистора через резистор R_{43} поступает ток около 1 *ма*, достаточный для получения насыщенного режима транзисторов с $\beta \geqslant 10$. При установке же переключателя $П_5$ в положение $U_{б.э0,1}$ в базу транзистора через резистор R_{44} поступает ток около 0,1 *ма*, что обеспечивает ненасыщенный режим работы транзистора с $\beta < 100$ и насыщенный режим работы при $\beta > 100$.

Установка переключателя $П_5$ в положения $U_{б.э10}$, $U_{б.э1}$ и $U_{б.э0,1}$ позволяет также измерять напряжение на диоде при прямом токе 10, 1 и 0,1 *ма* соответственно. Проверяемые диоды подсоединяются к гнездам *э* и *б*, как показано на рис. 6, пунктиром.

В процессе эксплуатации напряжение питания прибора изменяется в значительных пределах (например, при измерении параметров и диодов от 6,5 до 4 *в*), что объясняется естественным старением батарей и их разрядом. Если не принимать специальных мер, то это может вызвать значительную погрешность измерений.

При измерении β транзисторов для компенсации погрешности измерения вводится поправочный коэффициент K_β, величина которого определяется напряжением питания. Для измерения напряжения питания переключатель $П_5$ устанавливают в положение $U_{пит}$ (см. рис. 1). При этом к источнику питания подсоединяется резистор R_{50}, сопротивление которого эквивалентно средней нагрузке на источник питания со стороны схемы. Напряжение питания измеряется вольтметром со шкалой 4—6,5 *в*, образованным измерителем *ИП* и резистором R_{59}. Каждому значению напряжения в пределах 4—6,5 *в* соответствует определенное значение коэффициента K_β в пределах 1,6—0,7.

Зависимость K_β от $U_{пит}$ нанесена на шкалу измерителя. Эта зависимость рассчитана аналитически для условного транзистора с усредненными параметрами и подтверждена экспериментально путем статистической обработки результатов измерений β многочисленных германиевых и кремниевых транзисторов различных типов. Результаты этой обработки позволят сделать вывод о том, что введение коэффициента K_β значительно уменьшает погрешность измерения β (в худшем случае при уменьшении напряжения питания до 4 *в* погрешность измерения не превышает 15%).

Следует отметить, что знание величины питающего напряжения дает возможность определить точное значение тока коллектора $I_{к.э.н}$, при котором произведено измерение $U_{к.э.н}$, а также вычислить внутреннее сопротивление $R_{к.э.н}$ насыщенного транзистора по формулам, приведенным ниже (при описании работы с прибором).

Влияние напряжения питания на погрешность измерения $I_{к.о}$, $I_{к.н}$, $I_{б.о}$, $I_{э.о}$ и $U_{б.э}$ транзисторов, а также на погрешность измерения параметров диодов незначительно и поэтому не учитывается. Это объясняется слабой зависимостью тока через закрытый *p-n*-переход от приложенного напряжения, а также напряжения на открытом *p-n*-переходе от протекающего через него тока.

Схема измерения параметров транзисторов и диодов автономна, что позволяет при необходимости реализовать ее в виде самостоятельного измерительного прибора.

ДЕТАЛИ И КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Конструкция прибора (внешний вид и внутренняя компоновка) показана на рис. 7 и 8. Наиболее крупногабаритными деталями, определяющими характер конструкции прибора, являются микроамперметр, галетные переключатели $П_1$, $П_2$, $П_5$ и $П_6$, а также четыре гальванических элемента типа ФБС-0,25, составляющих батарею $Б_1$ (один элемент) и батарею $Б_2$ (три элемента). $П_1$ и $П_2$ — обычные трехплатные галетные переключатели с расстоянием между платами 8 *мм*. Предпочтительнее использовать в качестве $П_1$ переключатель типа ПГК-5П6Н-8А, а в качестве $П_2$ — переключатель типа ПГК-11П3Н-8А. Для дополнительного (шестого) положения переключателя $П_1$, соответствующего выключенному прибору, необходимо должным образом установить ограничитель поворота.

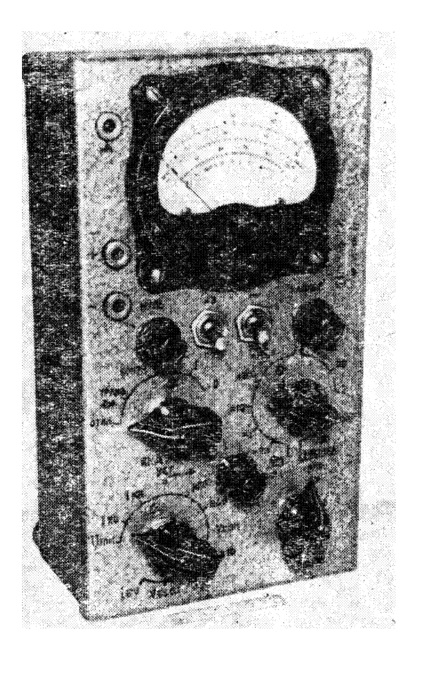


Рис. 7. Внешний вид прибора МКИП-1 с микроамперметром типа М-494.

Неиспользованные контакты верхних плат галетных переключателей, особенно верхней платы переключателя $П_2$, которая обозначена на принципиальной схеме прибора (см. рис. 1) как $П_{2а}$, следует отогнуть, чтобы использовать их в качестве монтажных лепестков, что значительно упрощает монтаж. $П_{2б}$ и $П_{2в}$ включены параллельно, чтобы уменьшить погрешность измерения больших токов.

Резисторы R_1—R_{14} (кроме резистора R_4) и конденсаторы C_1—C_3 смонтированы на переключателе $П_2$, а резисторы R_{15} и R_{54} — на переключателе $П_1$. Сопротивление R_{54} составлено из двух резисторов, соединенных последовательно, один из которых (2 *ком*) подбирается при налаживании прибора.

В качестве переключателей $П_3$ и $П_4$ использованы тумблеры типа ТП1-2. Резисторы R_{17} и R_{18} смонтированы на переключателе $П_3$.

Для $П_5$ может быть использован галетный переключатель на 11 положений и пять направлений типа ПГГ-11П5Н-4А или переделанный переключатель типа ПГК-11П4Н-8А. Переделка послед-

него заключается в установке дополнительной платы и уменьшении расстояния между платами, чтобы длина установленного на панель переключателя не превышала 60 *мм*. Резисторы R_{40}—R_{53} (кроме R_{51} и R_{59}), а также диоды $Д_3$ и $Д_4$ смонтированы на этом переключателе. Сопротивление R_{48} составлено из двух резисторов, один из которых (2 *ком*) подбирается при налаживании прибора.

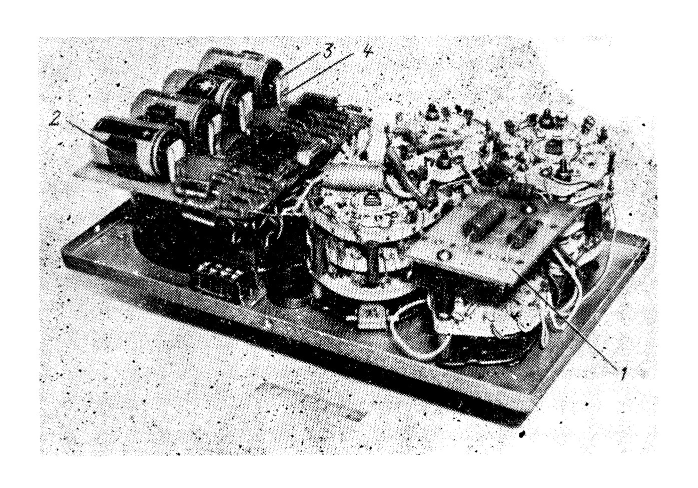


Рис. 8. Внутренняя компоновка прибора.

Переключатель $П_6$ одноплатный галетный на два положения и четыре направления. В приборе использован переключатель типа ПГК-2П4Н-А. Над платой этого переключателя надо установить стеклотекстолитовую пластину *1* (рис. 8) толщиной 1—1,5 *мм* с смонтированным на ней составным резистором R_4 (стеклотекстолит можно заменить бакелизированным гетинаксом). Если имеется возможность приобрести прецизионные резисторы типа С2-8, то резистор R_4 надо составить из четырех последовательно соединенных резисторов С2-8-1,0 10 *Мом* $\pm 1\%$. При отсутствии названных резисторов R_4 можно составить из пяти соединенных последовательно резисторов ОМЛТ-1 или МЛТ-1 первого класса точности. Сопротивления двух из этих резисторов должны быть по 10 *Мом*, двух других — по 9,1 *Мом*, а сопротивление пятого резистора подбирается при налаживании прибора.

Усилитель и связанные с ним цепи смонтированы на стеклотекстолитовой (можно на гетинаксовой) плате (рис. 8) толщиной 1,5 *мм*, закрепленной на микроамперметре. На этой же плате крепятся при помощи пружинных держателей *2*, упругих контактов *3* и плоских пружин *4*, приклепанных к плате, четыре гальванических элемента ФБС-0,25. Расположение деталей на плате представлено на рис. 9. На этом же рисунке указаны монтажные соединения. Батареи и относящиеся к ним детали на рис. 9 не показаны, чтобы указать расположение соответствующих крепежных отверстий. Плату можно выполнить методом печатного монтажа (рис. 10).

Резистор R_{58} распаян между лепестками переключателей $П_1$ и $П_2$, а резистор R_{55} — между выводом переключателя $П_1$ и контактом на плате усилителя. Конденсатор C_7 и диод $Д_2$ расположены непосредственно между выводами микроамперметра под платой

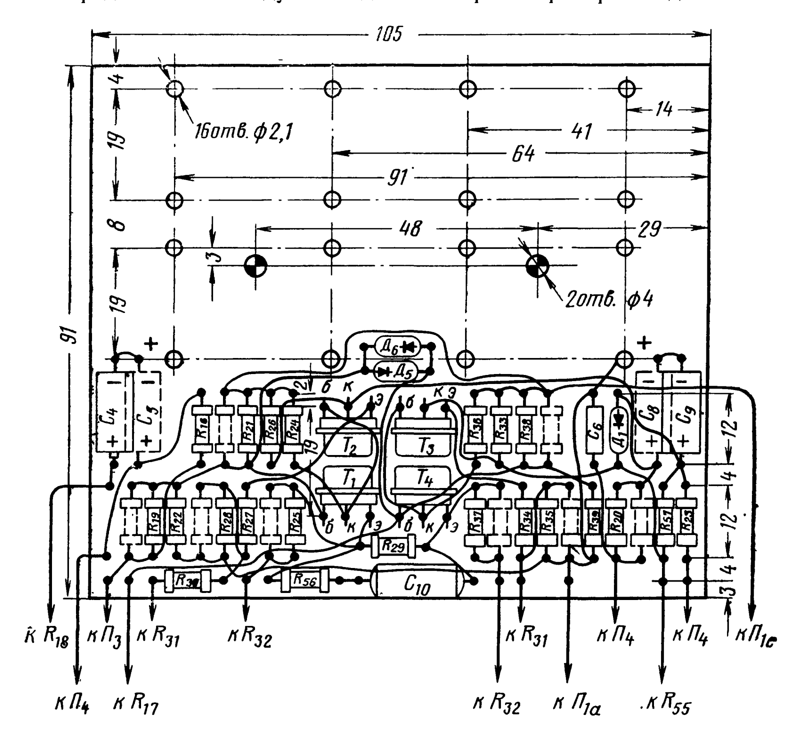


Рис. 9. Расположение деталей на плате усилителя.

усилителя. Резистор R_{60} распаян между выводом движка резистора R_{32} и соответствующим контактом на плате.

Конструкция колодки для подсоединения проверяемых транзисторов приведена на рис. 11. На этом же рисунке дана деталировка этой колодки, а также чертежи деталей *1, 2, 3, 4* и *14*. Для деталей *5, 6, 11* и *14* можно применить листовой стеклотекстолит или гетинакс, для деталей *2, 3, 4, 8* и *9* — ленту из фосфористой бронзы толщиной 0,3 *мм*, а для детали *12* — медную проволоку диаметром 1 *мм*. Детали *5* и *6* скрепляются четырьмя пустотелыми заклепками *7* размером 2×5 *мм*. Каждая из восьми пустотелых заклепок *10* размером 2×3 *мм* крепит детали *8* и *9* к детали *5*. Пять деталей *11* нанизываются на две детали *12*, после чего последние впаиваются в четыре пустотелых заклепки *13* размером 2×2,5 *мм*, развальцованные на детали *5*. Колодка крепится к лицевой панели прибора через прокладку *14* двумя винтами М2 с гайками.

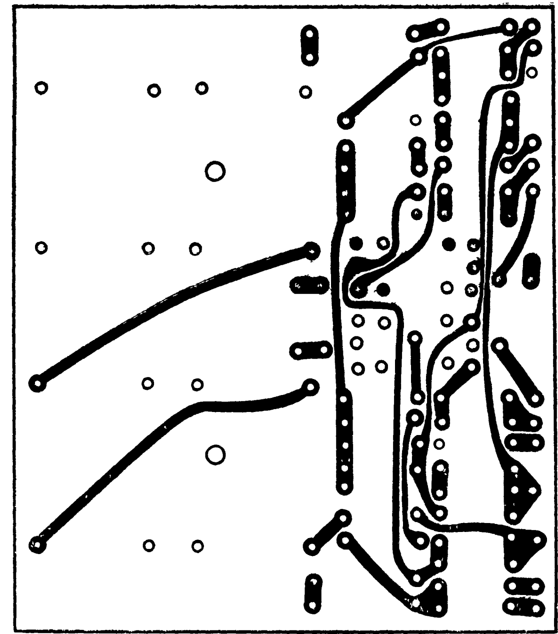
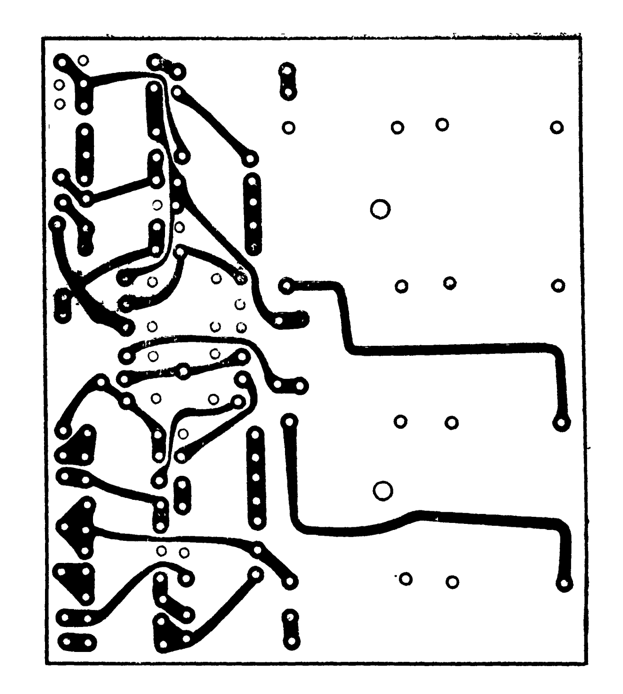



Рис. 10. Печатная плата усилителя.

Конденсатор C_{11} распаян непосредственно на выводах гнезд *э* и *б*. В приборе использованы потенциометры R_{31} и R_{32} типа ППЗ-40 (можно заменить типом СПО-1).

Потенциометр R_{51} типа СП1-0,25-В 10 *ком*-20% ОС-5-20, имеет обратно-логарифмический закон изменения сопротивления, что обеспечивает более плавную установку нуля при проверке транзисторов с большим значением β.

Все переключатели, потенциометры, гнезда и микроамперметр прикреплены к лицевой панели прибора, чертеж которой представлен на рис. 12. Панель имеет отбортовки для сочленения с кожухом. Его чертеж приведен на рис. 13. И лицевая панель и кожух изготовлены из листового дюралюминия толщиной 1,5 *мм*. Прикрепляется панель к кожуху пятью винтами М2 с потайной головкой, которые ввинчиваются в пять резьбовых втулок, развальцованных на кожухе.

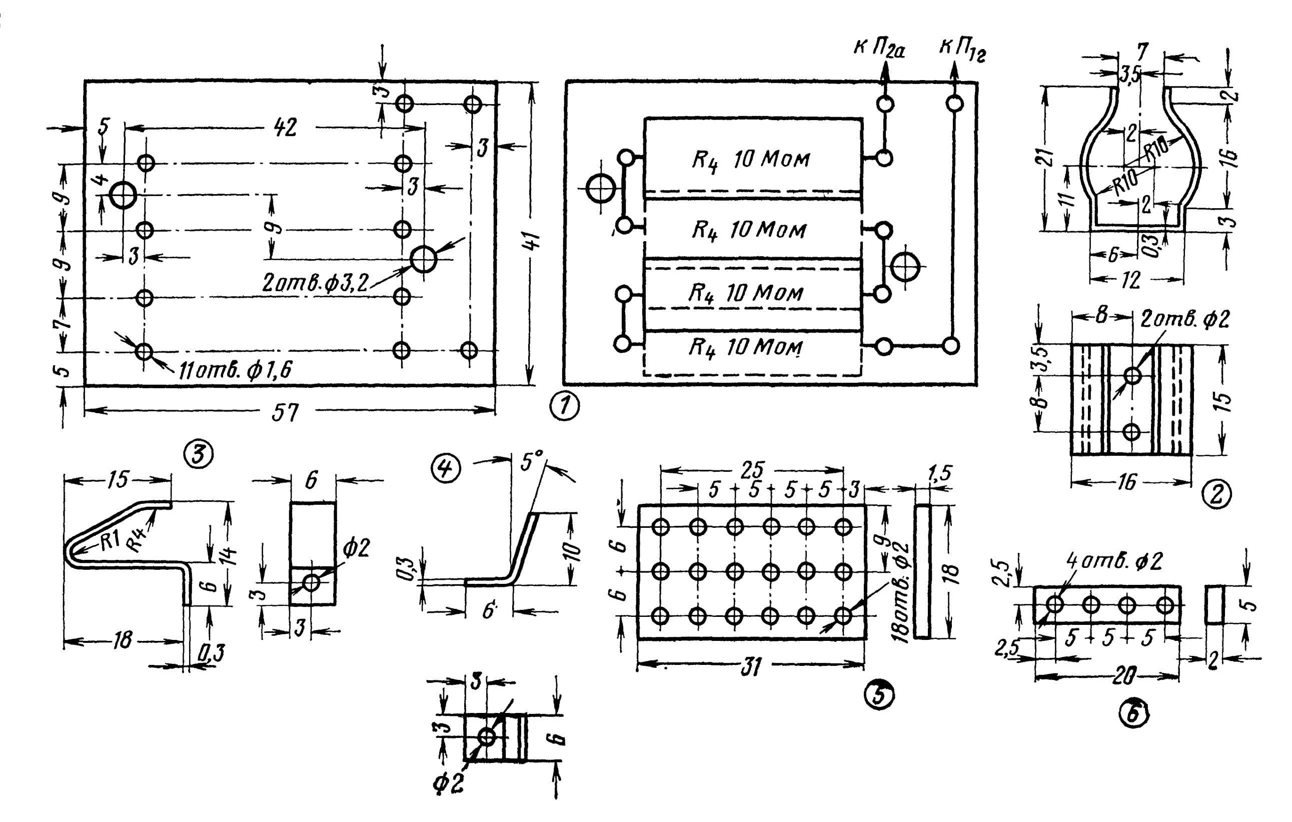
Шкалу прибора, приведенную на рис. 14, нужно сфотографировать или скопировать на белую тонкую бумагу при строгом соблюдении размеров и наклеить ее на шкалу микроамперметра клеем БФ-2. Для удобства пользования прибором целесообразно окрасить каждую из трех внутренних шкал тушью определенного цвета (цвет окраски должен повторять цвет маркировки указателей положения соответствующих переключателей).

Точность и стабильность дополнительных сопротивлений, шунтов и других образцовых сопротивлений прибора должна быть высокой, поэтому целесообразно использовать в качестве R_1, R_2, R_3, R_{10}, R_{11}, R_{15}, R_{58}, R_{59} и неподбираемой части R_{54} резисторы типа С2-8-0,25 с допуском ±1%, а в качестве R_5, R_6, R_7, R_8, R_{12}, R_{13}, R_{14}, R_{16}, R_{17}, R_{22} и R_{39} резисторы типа С2-10-0,25 с допуском 0,5—1%, номиналы которых наиболее близки к расчетным значениям, указанным на принципиальной схеме прибора. Резисторы С2-8 и С2-10 могут быть заменены резисторами типа УЛИ-0,125 с допуском ±1%, однако следует учитывать, что габариты резисторов типа УЛИ-0,125 значительно больше габаритов резисторов типа С2-10-0,25. Возможно использование (кроме R_7, R_8 и R_{14}) и распространенных резисторов типа ОМЛТ-0,25, МЛТ-0,25 или УЛМ с допуском ±5%, но в этом случае необходим специальный подбор сопротивления каждого резистора с точностью не ниже ±1% относительно значений, указанных на принципиальной схеме. Следует также учитывать худшую временную и температурную стабильность резисторов ОМЛТ, МЛТ и УЛМ.

Резистор R_9 изготовлен из константанового провода диаметром 0,4 *мм*, намотанного на высокоомный резистор типа МЛТ-0,5. Точная подгонка этого сопротивления производится облуживанием провода и соскабливанием излишков припоя. После подгонки резистор R_9 необходимо покрыть лаком. Таким же образом при невозможности приобрести резисторы типа С2-10 или УЛИ-0,125 могут быть изготовлены и резисторы R_7, R_8 и R_{14}. При этом для изготовления резисторов R_7 и R_{14} провод должен быть диаметром 0,2, а для резистора R_8 диаметром 0,3 *мм*. Намотку резистора R_7 надо выполнять бифилярным способом.

Остальные постоянные резисторы, к которым не предъявляются требования высокой точности и стабильности, могут быть типа ОМЛТ-0,25, МЛТ-0,25 или УЛМ.

Конденсаторы C_1 и C_6 типа КМ-5а-М1500 с допуском ±10%, конденсаторы C_2, C_3 и C_{10} типа БМ-2 наименьшего габарита с до-


к П2а
к П1г
R4 10 Мом
R4 10 Мом
R4 10 Мом
R4 10 Мом
2отв. ф3,2
11отв. ф1,6
2отв. ф2
18отв. ф2
4отв. ф2
ф2
R1
R4
R10
5°

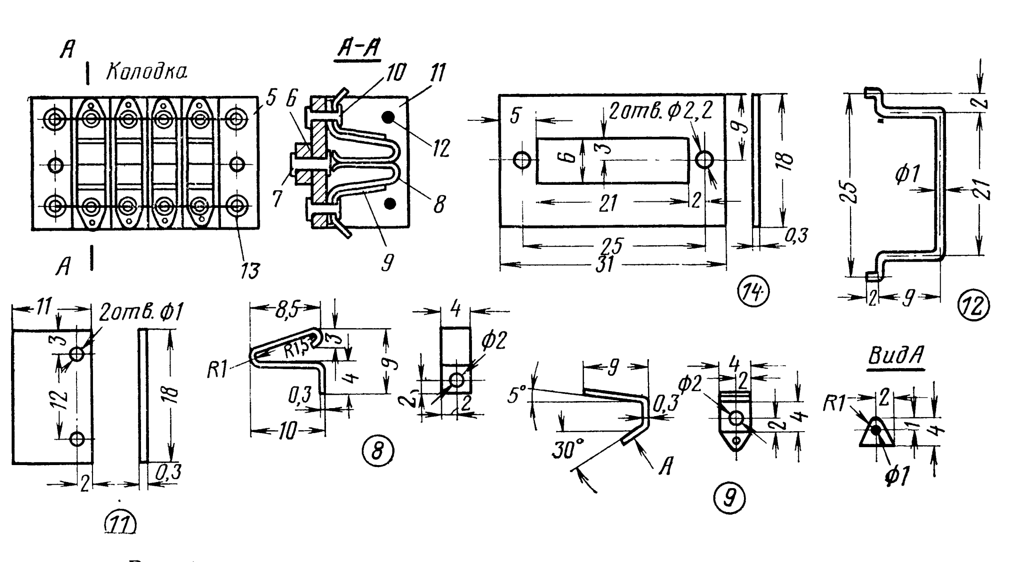


Рис. 11. Конструкция колодки для подсоединения проверяемых транзисторов и диодов. Чертежи деталей.

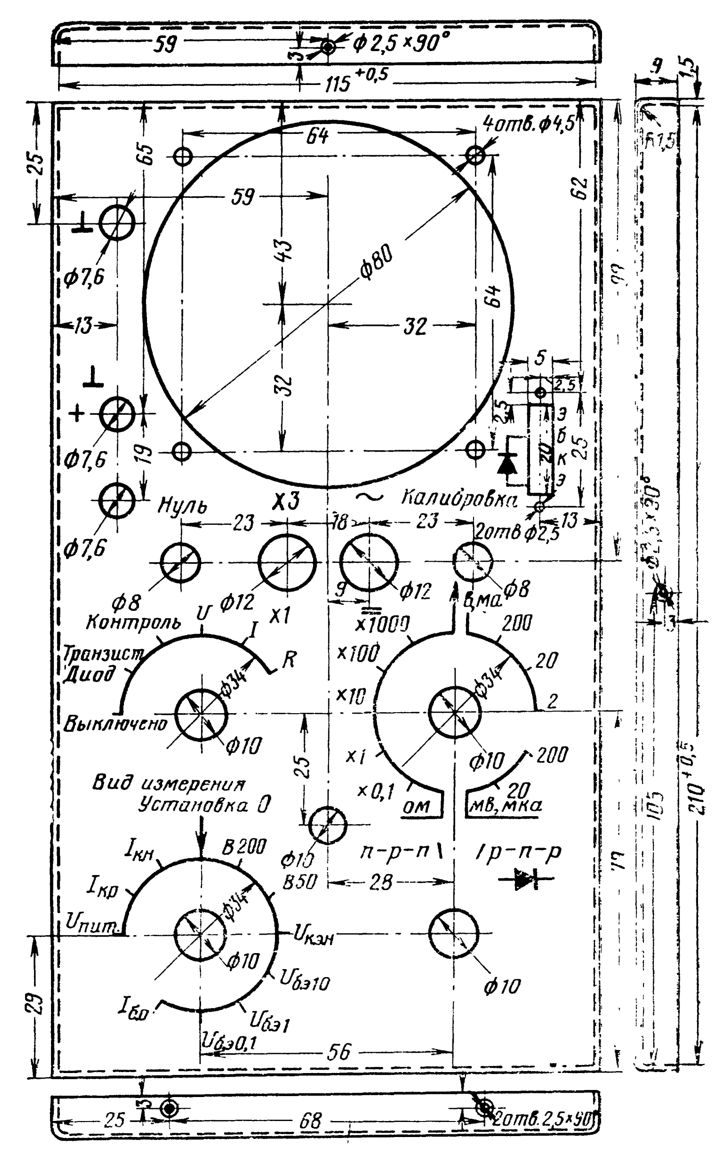


Рис. 12. Лицевая панель прибора.

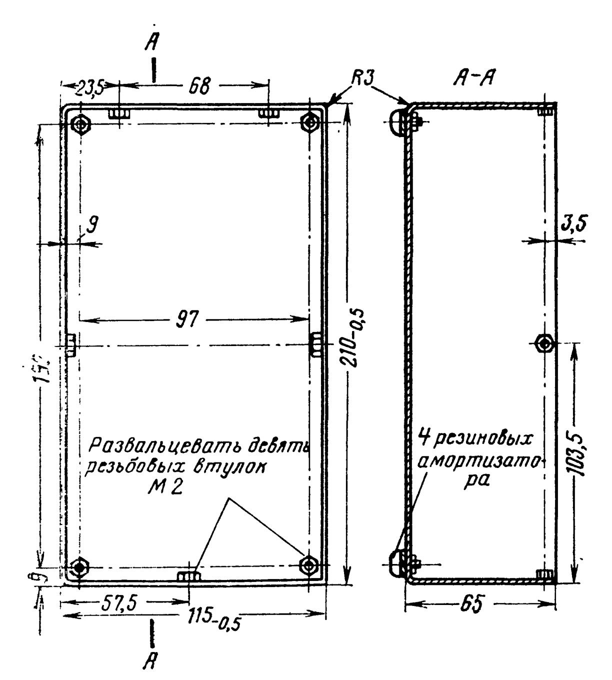


Рис. 13. Конструктивный чертеж кожуха

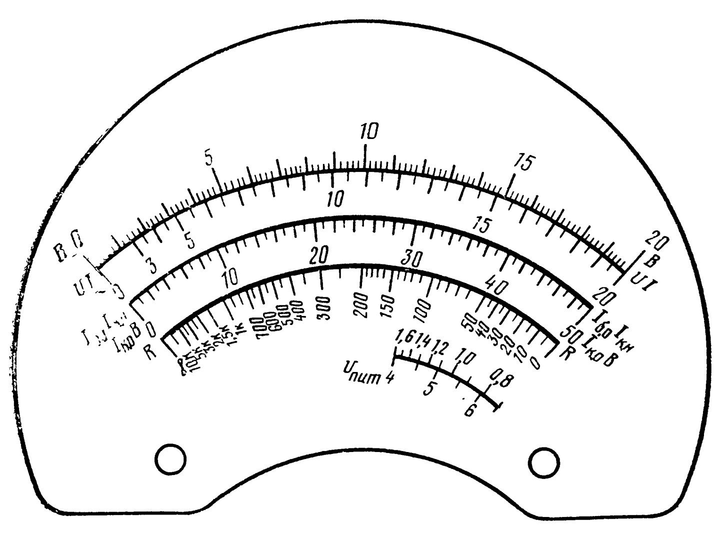


Рис. 14 Шкала прибора для микроамперметра типа М-494.

пуском ±10%, конденсаторы C_7 и C_{11} типа КМ-5а-Н90 или КМ-5а-Н30.

В качестве емкостей C_4, C_5, C_8 и C_9 можно использовать оксидно-полупроводниковые конденсаторы типа К-53-1-15-47±30% или электролитические конденсаторы типа ЭТО-1-15-50±30%.

Типы используемых полупроводниковых приборов оговорены ранее и отражены на принципиальной схеме (см. рис. 1). Следует только отметить, что вместо транзисторов 1Т308В можно использовать транзисторы П416Б, а вместо диодов Д223А — диоды Д223 любой группы или диоды Д219А. Транзисторы T_1—T_4 рекомендуется до налаживания прибора не устанавливать. Целесообразно вместо транзисторов использовать микросхему типа 2НТ172 или 2НТ013. Так как четыре транзистора, составляющие эту микросхему, имеют проводимость *n-p-n,* необходимо изменить полярность напряжения питания усилителя, сохранив неизменной полярность напряжения питания остальных цепей прибора. При этом следует также уменьшить сопротивление резисторов R_{21} и R_{38} до 10 *ком.*

Для улучшения внешнего вида прибора и повышения разрешающей способности его шкалы вместо микроамперметра типа М494 можно использовать микроамперметр типа М-24 с током полного отклонения 50 *мка.* Внешний вид прибора с микроамперметром М-24 показан на рис. 15. Наличник микроамперметра М-24 в этом



Рис. 15. Внешний вид прибора МКИП-1 с микроамперметром типа М-24.

случае надо удалить и вместо него изготовить из эбонита и прозрачного оргстекла новый наличник (рис. 16). Плоскую часть корпуса микроамперметра тоже надо переделать, оставив лишь небольшой фланец для прикрепления микроамперметра к внутренней стороне лицевой панели прибора (для этого во фланце нужно просверлить крепежные отверстия).

Перед установкой микроамперметра М-24 в прибор его шкалу необходимо снять и обрезать по внутреннему размеру вновь изготовленного наличника. Сначала надо закрепить в приборе микроамперметр, затем поставить на место шкалу (рис. 17) и после этого укрепить наличник. При использовании в приборе микроамперметра типа М-24 необходимо, кроме того, перенести корпусное гнездо прибора.

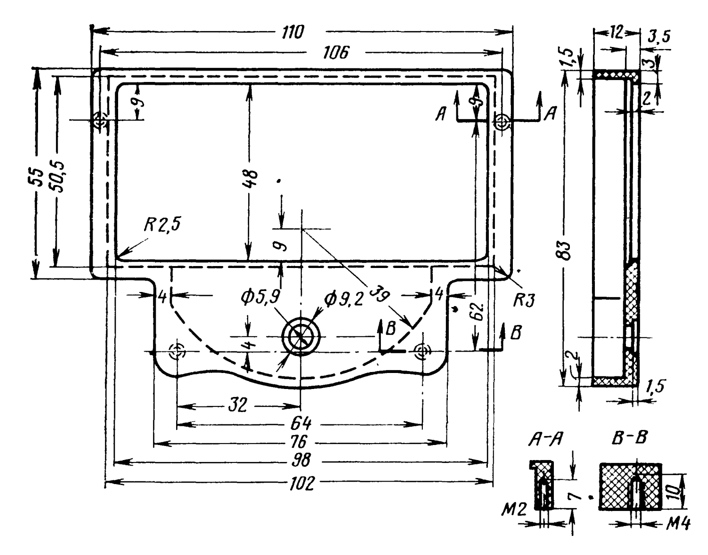


Рис. 16. Конструкция наличника для микроамперметра М-24.

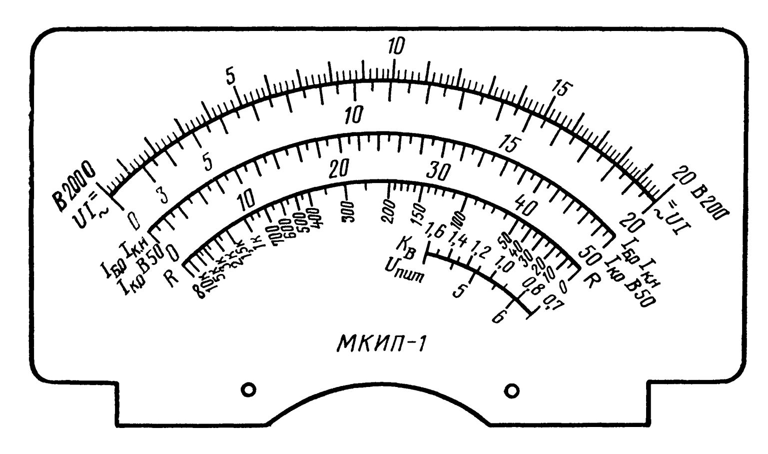


Рис. 17. Шкала прибора для микроамперметра М-24.

НАЛАЖИВАНИЕ ПРИБОРА

Включению прибора должна предшествовать тщательная проверка его монтажа. Необходимо также корректором добиться точной установки нуля микроамперметра при выключенном, но находящемся в рабочем положении приборе.

Налаживание схемы для измерения параметров транзисторов и диодов сводится к уточнению сопротивления двух соединенных последовательно резисторов $R_{48}=36+2$ *ком*. Для этого переключатель $П_5$ устанавливают в положение $U_{б.эо,1}$, переключатель $П_6$ — в положение *р-п-р,* а к гнездам *э* и *б* для подсоединения проверяемых транзисторов подключается напряжение, точно равное 2 *в*, так, чтобы минус этого напряжения был приложен к гнезду *б*. Заменяя затем дополнительный резистор 2 *ком* другим резистором с несколько большим или меньшим сопротивлением, следует добиться отклонения стрелки измерителя точно на всю шкалу. При правильном монтаже схема измерения параметров транзисторов и диодов дополнительного налаживания не требует.

Ранее отмечалось, что работоспособность прибора в интервале температур от 10 до 35° С обеспечивается без проведения какого бы то ни было подбора транзисторов типа 1Т308В. Однако даже грубый подбор пар транзисторов позволяет расширить интервал рабочих температур до предела от —20 до +55° С и более. Сущность подбора заключается в получении при нормальной температуре равенства параметров β, $U_{б.эо,1}$ и $I_{к.о}$ транзисторов T_1 и T_4 с точностью до ±10%. Если ток $I_{к.о}$ каждого транзистора не превышает 2 *мка*, то равенства этого параметра обоих транзисторов можно не добиваться. Для второго каскада усилителя подбор пары транзисторов не обязателен. Однако их подбор даже при снижении требований к идентичности β до 30% улучшает температурную стабильность нуля. Подобранные пары транзисторов следует вмонтировать в схему и приступить к налаживанию усилителя. При использовании вместо транзисторов микросхемы типа 2НТ172 или 2НТ013 налаживание усилителя облегчается, а его стабильность улучшается.

Необходимо учитывать, что нагрев отдельных деталей усилителя может вызвать временное нарушение балансировки схемы, которая восстанавливается по мере выравнивания температуры. Для того чтобы детали усилителя не подвергать нагреву в процессе подбора резисторов, рекомендуется при налаживании по возможности не прибегать к пайке. Поэтому надо предварительно вывести из прибора необходимое количество мягких проводников для подсоединения к ним подборных резисторов без применения пайки. Установка этих резисторов в прибор должна производиться на заключительной стадии налаживания.

Усилитель рекомендуется налаживать в следующем порядке.

1. Вместо батареи $Б_1$ подключить внешнее напряжение, точно равное 2 *в*, после чего переключатель $П_1$ установить в положение *Контроль*. Заменяя подборный резистор (2 *ком*) сопротивления R_{54}, надо добиться отклонения стрелки измерителя точно на всю шкалу. После этого внешнее напряжение отключают, а батарею $Б_1$ вставляют в прибор. При налаживании прибора напряжение батареи $Б_2$ должно быть в пределах 4,3—4,7 *в*.

2. Установить движок потенциометра R_{32} в среднее положение, движок переменного резистора R_{31} влево до упора (вправо по схе-

ме), а переключатели $П_1$—$П_4$ в положения U, 200 *в*, ×1 и «=» соответственно. Коллекторы транзисторов T_1 и T_4 надо временно соединить и подбором сопротивления R_{60} в интервале 0—180 *ом* добиться, чтобы напряжение на коллекторах было в пределах 2,3—2,5 *в*. Подсоединяя затем параллельно R_{28} или R_{35} резистор, сопротивление которого подбирается в интервале 20 *ком* — 1 *Мом,* следует добиться нулевого показания измерителя с точностью ±2 деления верхней шкалы. Далее подбором резисторов R_{27} и R_{34} добиваются того, чтобы при замыкании и размыкании точек *1* и *2* (см. рис. 1) разница показаний в области нуля составляла не более трех делений по верхней шкале. При этом необходимо, чтобы сумма сопротивлений резисторов R_{27} и R_{34} составляла (240—280 *ом*). В случае значительного ухода нуля следует вновь уточнить сопротивление резистора, подсоединенного параллельно резистору R_{28} или R_{35}. Затем надо разомкнуть коллекторы транзисторов T_1 и T_4 и, присоединяя параллельно R_{25} или R_{37} резистор в 5—500 *ком*, добиться нулевого показания измерителя с точностью +15÷—2 деления верхней шкалы. Регулировкой потенциометра R_{32} добиваются точного нулевого показания. После этого соединением параллельно R_{21} или R_{38} резистора, сопротивление которого выбирается в пределах 100 *ком* — 2,7 *Мом,* надо добиться, чтобы при переводе переключателя $П_1$ из положения U в положение I и обратно отклонение стрелки измерителя от нуля было не более двух делений по верхней шкале.

3. Корректировать нуль, после чего перевести переключатель $П_2$ в положение 2 *в*, переключатель $П_4$ в положение ~, а движок переменного резистора R_{31} установить примерно в среднее положение. На вход прибора нужно подать переменное напряжение синусоидальной формы частотой 400 *гц,* действующее значение которого должно быть точно равно 2 *в*. Подбором сопротивления резистора R_{30} следует добиться точного отклонения стрелки измерителя на всю шкалу.

4. При том же положении движка резистора R_{31} перевести переключатель $П_4$ в положение «=» и подкорректировать нуль. Переключить $П_2$ в положение *Калибровка* и, подбирая сопортивление резистора R_{20}, добиться в точности одинаковых показаний измерителя при переводе переключателя $П_1$ из положения U в положение *Контроль* и обратно.

5. Проверить установку нуля и калибровку, после чего установить переключатель $П_2$ в положение 20 *мв*. Затем от образцового делителя напряжения подать на вход прибора постоянное напряжение, равное 20 *мв,* и, подбирая сопротивление резистора R_{19}, добиться точного отклонения стрелки измерителя на всю шкалу.

На этом налаживание прибора можно закончить, считая, что все добавочные сопротивления, шунты и образцовые сопротивления, установленные в прибор, имеют точность не ниже 1%.

При налаживании прибора переключатель $П_3$ должен быть в положении ×1. В качестве образцового вольтметра рекомендуется использовать цифровой вольтметр типа В7-8. Указанные на принципиальной схеме емкости конденсаторов C_1, C_2 и C_3 соответствуют рекомендуемому расположению деталей, обусловливающему определенную емкость монтажа. Отступление от этого может вызвать необходимость подбора емкости названных конденсаторов при измерении переменного напряжения, частота которого близка к верхней граничной частоте соответствующих пределов измерений. На

принципиальной схеме прибора (см. рис. 1) звездочкой отмечены резисторы, подбираемые при налаживании, а пунктиром указаны резисторы, облегчающие точный подбор сопротивлений. Эти резисторы устанавливаются при необходимости на места, предусмотренные конструкцией платы усилителя.

РАБОТА С ПРИБОРОМ

Работе с прибором должна предшествовать проверка работоспособности его источников питания. Для этого переключатель $П_1$ устанавливают в положение *Транзистор,* а переключатель $П_5$ — в положение $U_{пит}$. Показание измерителя по нижней шкале должно быть в пределах 4—6,5 *в*. При показании менее 4 *в* батареи следует заменить.

Перед измерением тока, напряжения или сопротивления прибор необходимо откалибровать. Калибровку прибора перед измерением тока или напряжения производят следующим образом. Переключатель $П_1$ устанавливают в положение *U*, переключатель $П_2$ в положение 200 *в*, переключатель $П_3$ в положение ×1, а переключатель $П_4$ в положение «=». Поворотом ручки *Нуль* стрелку измерителя совмещают с нулевой отметкой шкалы. Затем переключатель $П_2$ переводят в положение *Калибровка* и поворотом калибровочной ручки добиваются одинакового показания стрелки измерителя при переводе переключателя $П_1$ из положения *U* в положение *Контроль* и обратно.

После калибровки прибор готов к измерению постоянного и переменного напряжения и тока на всех пределах измерений (как основных — при установке переключателя $П_3$ в положение ×1, так и дополнительных — при переводе его в положение ×3).

Напряжения измеряют при установке переключателя $П_1$ в положение *U*, а ток при переводе этого же переключателя в положение *I* (кроме предела 0—5 *мка*, который соответствует установке $П_1$ в положение *U*, а $П_2$ в положение 20 *мв*).

Необходимо помнить, что при переводе переключателей $П_1$ и $П_3$ из одного положения в другое, а также при изменении окружающей температуры возможно незначительное смещение нуля. Это смещение легко компенсируется ручкой *Нуль* и не нарушает калибровку прибора.

При измерении переменных напряжений и токов переключатель $П_4$ устанавливают в положение ~ (смещение нуля при этом не проявляется). Следует учитывать то обстоятельство, что точность показаний прибора определяется степенью искажений формы измеряемого напряжения относительно синусоидальной. Дополнительная погрешность прибора при измерении напряжения несинусоидальной формы численно равна коэффициенту искажений.

Калибровка прибора перед измерением сопротивлений производится следующим образом. Переключатель $П_1$ устанавливают в положение *R*, переключатель $П_2$ — в положение 200 *в*, переключатель $П_3$ — в положение ×1 и переключатель $П_4$ — в положение «=». Далее поворотом ручки *Нуль* надо добиться нулевого положения стрелки измерителя. Затем переключатель $П_2$ переводят в положение *Калибровка* и поворотом ручки с этим же названием добиваются отклонения стрелки точно на нуль шкалы *R*. После калибровки прибор готов к измерению сопротивлений на всех пределах от ×1000 до ×0,1.

При работе с прибором надо иметь в виду, что последовательно в цепь измеряемого сопротивления входит внутреннее сопротивление батареи $Б_1$. Для частично разряженной батареи это сопротивление может оказаться значительным, поэтому его следует учитывать. Внутреннее сопротивление батареи $R_{бат}$ определяется показаниями прибора при замкнутых накоротко гнездах «+» и «—». Тогда измеряемое сопротивление $R_x = R_{пр} - R_{бат}$, где $R_{пр}$ — показание измерителя на нужной шкале. При относительно свежей батарее $Б_1$ влияние $R_{бат}$ ощущается только на пределе измерений $\times 0,1$.

Для измерения параметров транзистора его выводы вставляют в гнезда *э, б* и *к*, переключатель $П_6$ устанавливают в положение, соответствующее типу проводимости проверяемого транзистора, а переключатель $П_1$ в положение *Транзистор*. Но перед этим следует определить и запомнить напряжение $U_{пит}$ и соответствующее значение поправочного коэффициента K_β. Для этого надо установить переключатель $П_5$ в положение $U_{пит}$ и снять показания по нижней шкале прибора.

Начинать измерения удобнее всего с определения $I_{к.о}$ транзистора и проводить их в последовательности, задаваемой переключателем $П_5$. Измерения токов $I_{к.о}$, $I_{к.н}$ и напряжений $U_{к.э.н}$, $U_{б.эfo}$, а также тока $I_{б.о}$ сводятся к снятию показаний прибора в каждом из указанных положений переключателя $П_5$.

По измеренным значениям $U_{пит}$ и $U_{к.э.н}$ можно вычислить ток (в миллиамперах) коллектора $I_{к.э.н}$, при котором измерялось напряжение $U_{к.э.н}$, и внутреннее сопротивление (в омах) $R_{к.э.н}$ насыщенного транзистора по следующим формулам:

$$I_{к.э.н} = \frac{U_{пит} - U_{к.э.н}}{R_{47}} = \frac{U_{пит} - U_{к.э.н}}{0,47};$$

$$R_{к.э.н} = \frac{U_{к.э.н}}{U_{пит} - U_{к.э.н}} R_{47} = \frac{470}{\frac{U_{пит}}{U_{к.э.н}} - 1}.$$

При измерении тока $I_{б.о}$ следует помнить, что у некоторых типов дрейфовых транзисторов эмиттерно-базовый переход имеет очень малую электрическую прочность. Это обстоятельство при измерении тока $I_{б.о}$, а также тока $I_{э.о}$ может привести к динамическому пробою, вызывающему уход стрелки измерителя за его шкалу. Однако этот пробой обратим и для транзистора не опасен, так как ток через переход эмиттер — база ограничен величиной менее 500 *мка*. Для измерения тока $I_{э.о}$ нужно вынуть коллекторный вывод транзистора из гнезда *к* и установить переключатель $П_5$ в положение $I_{б.о}$.

При измерении β необходимо сначала установить переключатель $П_5$ в положение *Установка 0* и поворотом ручки с этим же обозначением добиться нулевого показания стрелки измерителя. Затем переключатель $П_5$ переводят в положение β 200 и снимают показание прибора. Если β меньше 50, то для улучшения точности измерения переключатель $П_5$ лучше установить в положение β 50. Показание прибора следует умножить на предварительно определенный коэффициент K_β.

Диод при измерении его параметров должен быть включен в гнезда *э* (анодом) и *б* (катодом). Переключатель $П_6$ устанавливается в положение *Диод*. Измерение прямого напряжения на диоде при токах через него 10, 1 и 0,1 *ма* производится при

последовательной установке переключателя $П_5$ в положения $U_{б.эl0}$, $U_{б.эl}$ и $U_{б.эl0,l}$ соответственно.

Обратный ток диода при напряжении 2 *в* измеряется при установке переключателя $П_5$ в положение $I_{б.о}$. Прибор позволяет измерять обратный ток диода также и при напряжении 5 *в*. Для этого анодный вывод диода надо вынуть из гнезда *э* и вставить его в гнездо *к* (переключатель $П_5$ должен быть в положении $I_{б.о}$).

По измеренным значениям $U_{б.эl0}$, $U_{б.эl}$ и $U_{б.эl0,l}$ можно построить приближенные входные характеристики транзисторов и вольт-амперные характеристики диодов. Два значения обратного тока (в микроамперах) диода при разных запирающих напряжениях дают возможность вычислить дифференциальное обратное сопротивление (в мегомах) диода $R_{обр}=3/\Delta I_{обр}$, где $\Delta I_{обр}$ — разность обратных токов диода, измеренных при обратных напряжениях 5 и 2 *в*.

Для определения емкости конденсатора или индуктивности катушки конденсатор или катушку подключают к выходу звукового генератора, после чего измеряют ток, протекающий через конденсатор или катушку, и напряжение звукового генератора. Ток и напряжение измеряется одним и тем же прибором поочередно. При напряжении звукового генератора U (в вольтах), тока в цепи I (миллиамперах) и частоте f (в герцах) емкость конденсатора (в микрофарадах):

$$C=\frac{160I}{fU},$$

а индуктивность катушки (в генри)

$$L=\frac{160U}{fI}.$$

Чтобы включение миллиамперметра последовательно с измеряемым конденсатором или катушкой практически не оказывало влияния на ток в цепи, напряжение звукового генератора должно быть не менее 200 *мв* при использовании основных пределов измерения тока (положение $\times 1$ переключателя $П_3$) и не менее 600 *мв* при использовании дополнительных пределов (положение $\times 3$ переключателя $П_3$).

При изменении частоты звукового генератора от 50 *гц* до 10 *кгц* и напряжения от 200 *мв* до 20 *в* можно измерять емкости от десяти пикофарад до тысячи микрофарад и индуктивности от долей миллигенри до тысячи генри. Большие емкости следует измерять на низших частотах при малых напряжениях, малые емкости — на высших частотах при больших напряжениях, малые индуктивности — на высших частотах при малых напряжениях и большие индуктивности — на низших частотах при больших напряжениях.

Измерению индуктивности катушки должно предшествовать измерение ее активного сопротивления R на этом же приборе. В том случае, если $R>2fL$, измеренное значение L нуждается в уточнении. Точное значение индуктивности определяется по формуле

$$L_{точн}=\sqrt{L^2-0,0253\left(\frac{R}{f}\right)^2}.$$

Эта формула обеспечивает достаточную точность при $R\leqslant 5,8fL$. Если же R хотя бы незначительно превышает $5,8fL$, то погрешность

определения $L_{точн}$ резко возрастает. В этом случае необходимо увеличить частоту f, произвести повторное измерение индуктивности L и уже затем пользоваться формулой для определения $L_{точн}$.

При измерениях в цепях переменного тока необходимо корпусное гнездо прибора, а также его гнездо «+» соединять с корпусом или нулевым проводом объекта измерений и корпусом звукового генератора. Нужно также учитывать, что при измерении переменного напряжения допустимая величина постоянного напряжения любой полярности на входе прибора должна соответствовать следующим нормам: на пределах измерений от 20 до 600 *мв* не превышать 15 *в*, на пределах измерений 20 и 60 *в* не превышать 250 *в* и на пределах измерений 200 и 600 *в* не превышать 1 *кв*. Поэтому в ряде случаев при измерении малых переменных напряжений с большой постоянной составляющей гнездо «+» следует подключать не к корпусу объекта измерений, а к той точке схемы, которая имеет наименьшую постоянную составляющую напряжения относительно исследуемой точки, а по переменной составляющей соединена с корпусом. В тех немногих случаях, когда такая мера недостаточна или не может быть использована, надо применять внешний разделительный конденсатор на необходимое рабочее напряжение, емкость (в микрофарадах) которого удовлетворяет условию

$$C \geqslant \frac{1,6 \cdot 10^6}{f_н R_{вх}},$$

где $f_н$ — низшая частота измеряемых напряжений, а $R_{вх}$ — входное сопротивление вольтметра на соответствующем пределе измерений из расчета 200 *ком/в* на основных и 67 *ком/в* на дополнительных пределах измерений.

При измерении переменной составляющей пульсирующего тока прибор обеспечивает прохождение через него постоянной составляющей тока, но не реагирует на ее величину, что упрощает методику ряда измерений. Необходимо также иметь в виду, что при измерении переменного напряжения без внешнего разделительного конденсатора прибор оказывает также слабое шунтирующее воздействие по постоянному току. Степень шунтирования характеризуется следующими значениями входного сопротивления прибора по постоянному току при установке переключателя $П_4$ в положение ~ : 100 *ком* для пределов измерений 20 и 60 *мв*, около 140 *ком* для пределов измерений 200 и 600 *мв*, 500 *ком* для пределов измерений 2 и 6 *в*, 4 *Мом* для пределов измерений 20 и 60 *в*, 40 *Мом* для пределов измерений 200 и 600 *в*.

По окончании работы с прибором необходимо установить переключатель $П_1$ в положение *Выключено*.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Сравнительные характеристики прибора МКИП-1 и портативных комбинированных измерительных приборов, а также испытателей транзисторов (диодов) промышленной и радиолюбительской разработки

Тип прибора *	Крайние пределы измерений				Полный диапазон измерений сопротивления **	Входное сопротивление, *ком/в*		Измеряемые параметры транзисторов	Измеряемые параметры диодов
	Напряжение		Ток						
	постоянное	переменное	постоянный	переменный		для постоянного напряжения	для переменного напряжения		
МКИП-1	20 *мв*; 600 *в*	20 *мв*; 600 *в*	5 *мка*; 0,6 *а*	5 *мка*; 0,6 *а*	0,5 *ом* — 10 *Мом*	200	200	β, $I_{к.н}$, $I_{к.о}$, $I_{э.о}$, $U_{б.э}$***, $U_{к.э.н}$, $R_{к.э.н}$	$U_{пр}$***, $I_{обр}$, $R_{обр}$
Ц-20 [Л.1]	1,5 *в*; 600 *в*	7,5 *в*; 600 *в*	0,3 *ма*; 0,75 *а*	—	1 *ом* — 1 *Мом*	10	2	—	—
Ц-39	10 *в*; 500 *в*	10 *в*; 500 *в*	50 *мка*	—	50 *ом* — 10 *ком*	20	20	$I_{к.н}$, β	—
Ц-52 [Л.1]	75 *мв*; 600 *в*	3 *в*; 600 *в*	0,15 *ма*; 1,5 *а*	3 *ма*; 1,5 *а*	5 *ом* — 1 *Мом*	20	2	—	—
Ц-57 [Л.1]	75 *мв*; 600 *в*	3 *в*; 600 *в*	0,15 *ма*; 1,5 *а*	3 *ма*; 1,5 *а*	5 *ом* — 1 *Мом*	20	2	—	—
АВО-5М [Л.1]	3 *в*; 6 *кв*	3 *в*; 6 *кв*	60 *мка* 12 *а*	3 *ма*; 12 *а*	3 *ом* — 3 *Мом*	20	2	—	—
Ф431/2 [Л.3]	—	5 *мв*; 300 *в*	—	10 *мка*; 5 *ма*	—	—	20—100	—	—
Ф432 [Л.2]	6*в*; 600 *в*	15 *мв*; 600 *в*	60 *мка*; 30 *ма*	6 *мка*; 3 *ма*	20 *ом* — 2 *Мом*	16,7	1000	—	—

Ф-434 [Л.2,5]	0,15 *в*; 750 *в*	1,5 *в*; 750 *в*	60 *мка*; 60 *ма*	3 *ма*; 0,3 *а*	20 *ом* — 2 *Мом*	16,7	3,33	$I_{к.о}$, β	—
ВК7—6 [Л.4]	100 *мв*; 1 *кв*	1 *в*; 1 *кв*	1 *мка*; 1 *а*	—	10 *ом* — 5 *Мом*	1000	50—100	—	—
Ц4313 [Л.20]	75 *мв*; 600 *в*	1,5 *в*; 600 *в*	60 *мка*; 1,5 *а*	0,6 *мка*; 1,5 *а*	0,5 *ом* — 1 *Мом*	20	2	—	—
Ц4314 [Л.20]	75 *мв*; 600 *в*	0,75 *в*; 600 *в*	12 *мка*; 1,5 *а*	0,3 *ма*; 1,5 *а*	1 *ом* — 10 *Мом*	83	3,3	—	—
Ц4315 [Л.20]	75 *мв*; 1 *кв*	1 *в*; 1 *кв*	50 *мка*; 2,5 *а*	0,5 *ма*; 2,5 *а*	1 *ом* — 1 *Мом*	20	2	—	—
Ц4325 [Л.20]	120 *мв*; 600 *в*	3 *в*; 600 *в*	30 *мка*; 3 *а*	0,3 *ма*; 3 *а*	2 *ом* — 500 *ком*	20	4	—	—
Ц4341	0,3 *в*; 600 *в*	1,5 *в*; 750 *в*	60 *мка*; 0,6 *а*	0,3 *ма*; 0,3 *а*	5 *ом* — 500 *ком*	16,7	3,38	$I_{к.о}$, $I_{э.о}$, $I_{к.н}$, β	—
ИПТ-1 [Л.14]	—	—	—	—	—	—	—	$I_{к.о}$, β	—
Герц Универсаль-3 (Австрия)	100 *мв*; 1 *кв*	3 *в*; 1 *кв*	100 *мка*; 1 *а*	3 *ма*; 1,5 *а*	0,5 *ом* — 1 *Мом*	20	2	—	—
Unigor-3S (Австрия)	100 *мв*; 5 *кв*	0,5 *в*; 5 *кв*	0,1 *ма*; 5 *а*	0,5 *ма*; 5 *а*	1 *ом*—500 *ком*	25	2	—	—
Unigor-4S (Австрия)	100 *мв*; 5 *кв*	10 *в*; 1 *кв*	10 *мка*; 1 *а*	—	1 *ом* — 5 *Мом*	100	20	—	—
PU-120 (Чехословакия)	100 *мв*; 300 *в*	10 *в*; 300 *в*	50 *мка*; 3 *а*	—	1 *ом* — 1 *Мом*	20	8	$I_{к.о}$, β	$I_{обр}$, $R_{пр}$
Semitest-ITSP (ФРГ)	—	—	—	—	—	—	—	$I_{к.н}$, $I_{к}$, β	$U_{пр}$, $I_{пр}$, $I_{обр}$
Авометр [Л.6]	3 *в*; 1 *кв*	3 *в*; 1 *кв*	100 *мка*; 1 *а*	—	до 10 *Мом*	100	33	—	—
Вольтамперметр [Л.7]	—	15 *мв*; 500 *в*	—	15 *мка*; 5 *а*	—	—	20; 65	—	—
Авометр [Л.8]	10 *в*; 1000 *в*	10 *в*; 1000 *в*	5 *ма*; 1 *а*	—	10 *ом*—20 *Мом*	150	3	—	—
Тестер [Л.9]	0,15 *в*; 500 *в*	0,15 *в*; 500 *в*	50 *мка*; 1,5 *а*	50 *мка*; 1,5 *а*	0,2 *ом*—2 *Мом*	20	20	—	—

Тип прибора *	Крайние пределы измерений				Полный диапазон измерений сопротивления **	Входное сопротивление, *ком/в*		Измеряемые параметры транзисторов	Измеряемые параметры диодов
	Напряжение		Ток						
	постоянное	переменное	постоянный	переменный		для постоянного напряжения	для переменного напряжения		
Прибор для проверки транзисторов [Л.7]	—	—	—	—	—	—	—	$I_{к.о}$, β	—
Приставка к авометру [Л.12]	—	—	—	—	—	—	—	$I_{к.о}$, $I_{к.н}$, $I_{э.о}$, $I_к$, $I_б$, $U_{к.э}$, β, $R_{вх}$, $R_{вых}$	—
Ампервольтомметр [Л.15]	3 *в*; 1 *кв*	3 *в*; 1 *кв*	100 *мка*; 1 *а*	—	1 *ом* — 10 *Мом*	100	30	—	—
Милливольтметр-приставка [Л.19]	20 *мв*; 15 *в*	—	—	—	—	5 000	—	—	—
Испытатель транзисторов [Л.21]	—	—	—	—	—	—	—	$I_{к.о}$, β	—
ИТТ-1М [Л.22]	3 *в*; 600 *в*	3 *в*; 600 *в*	60 *мка*; 0,6 *а*	0,6 *ма*; 0,6 *а*	3 *ом* — 3 *Мом*	20	4	$I_{к.о}$, $I_{к.н}$, β	—
Авометр [Л.10]	100 *мв*; 1 *кв*	100 *мв*; 1 *кв*	1 *мка*; 5 *а*	1 *мка*; 5 *а*	0,1 *ом* — 50 *Мом*	1 000	1 000	—	—

* В скобках приведены ссылки на литературу.

** Приведенные данные соответствуют использованию только внутреннего источника питания.

*** Измеряются три значения напряжений (при токе 10, 1 и 0,1 *ма* соответственно). Падение напряжения на приборе МКИП-1 при измерении силы постоянного и переменного тока на основных пределах измерения не превышает 20 *мв*. Падение напряжения на промышленных авометрах при измерении силы постоянного тока составляет, как правило, 0,1—0,5 *в*, а при измерении силы переменного тока доходит до 1—1,5 *в*.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Соболевский А. Г.** Тестеры и авометры. М.— Л., Госэнергоиздат, 1963, 40 с.

2. **Лобачевский Г.** Новые измерительные приборы.— «Радио», № 10, 1963, с. 55—56.

3. **Борноволоков Э.** Измерительный прибор Ф431/2.— «Радио», № 7, 1968, с. 41—42.

4. **Россе Э.** Вольтметр ВК7-6.— «Радио», № 4, 1962, вкладка.

5. Ампервольтомметры. Справочный листок.— «Радио», № 8, 1967, с. 61.

6. **Капустин И.** Авометр на полупроводниковых триодах.— «Радио», № 10, 1959, с. 55—57.

7. **Балашов М. И.** Измерительные приборы радиолюбителя. М.— Л., «Энергия», 1965, 32 с.

8. **Могилевский Л.** Авометр на двух транзисторах.— «Радио», № 10, 1964, с. 45—46.

9. **Балашов М. И.** Малогабаритный тестер.— В кн.: В помощь радиолюбителю. Вып. 22. М., ДОСААФ, 1965, с. 28—39.

10. **Бирюков С.** Транзисторный авометр.— «Радио», № 5, 1971, с. 48—50.

11. Авометры для проверки транзисторов.— «Радио», № 9, 1962, с. 46—47.

12. **Слатин В.** Приставка к авометру для измерения параметров транзисторов.— В кн.: В помощь радиолюбителю. Вып. 30. М., ДОСААФ, 1968, с. 24—30.

13. Радиолюбительские конструкции (указатель описаний). М.— Л., «Энергия», 1967, 256 с.

14. **Элиан Л., Беляров А., Емельянов Н.** Испытатель полупроводниковых триодов ИПТ-1.— «Радио», № 3, 1961, с. 39—41.

15. **Виноградова Л., Редникина М.** Транзисторный ампервольтомметр.— «Радио», № 10, 1968, с. 42—43.

16. **Грибанов Ю. И.** Измерения в высокоомных цепях. М., «Энергия», 1967, 128 с.

17. **Николаевский И. Ф., Перельман Б. Л.** Высокочастотный германиевый сплавнодиффузионный *p-n-p*-транзистор 1Т308.— В кн.:

Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова. Вып. 13. М., «Советское радио», 1965, с. 86—100.

18. **Николаенко Н. С.** Температурная стабилизация и компенсация полупроводниковых усилителей.— В кн.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова. Вып. 9. М., «Советское радио», 1963, с. 132—165.

19. **Пруцкой А.** Милливольтметр — приставка.— «Радио», № 6, 1969, с. 49—50.

20. **Лащук Е.** Новые электроизмерительные приборы.— «Радио», № 7, 1969, с. 41—42.

21. **Морозов В.** Испытатель транзисторов.— В кн.: В помощь радиолюбителю. Вып. 23. М., ДОСААФ, 1965, с. 41—54.

22. **Дудич И.** Универсальный авометр — испытатель транзисторов.— «Радио», № 2, 1970, с. 53—54.

23. **Верютин В.** Ампервольтметр.— «Радио», № 3, 1970, с. 41.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 3
Основные требования к прибору 4
Краткие характеристики распространенных измерительных приборов 5
Основные характеристики многоцелевого комбинированного измерительного прибора 7
Схема прибора 10
Детали и конструкция прибора 25
Налаживание прибора 36
Работа с прибором 38
Приложение 42
Список литературы 45

Виктор Иванович Бутенко
КОМБИНИРОВАННЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

Редактор *Ф. И. Тарасов*
Редактор издательства *В. А. Абрамов*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Технический редактор *Л. М. Кузнецова*
Корректор *А. Д. Халанская*

Сдано в набор 25/IX 1973 г.
Подписано к печати 7/I 1974 г. Т-01111
Формат 84 × 108$^1/_{32}$ Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 2,52 Уч.-изд. л. 3,15
Тираж 30 000 экз. Заказ 463 Цена 14 коп.

Издательство «Энергия».
Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 13
Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли.
Денисовский пер., 30

Отпечатано в Московской типографии № 19
Союзполиграфпрома при Государственном комитете Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
наб. Мориса Тореза, 34. Зак. 131а

Цена 14 коп.